

# Langattomuus äänentoistojärjestelmässä

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2016  
Matias Mesiä

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma

MESIÄ, MATIAS:

Langattomuus  
äänentoistojärjestelmässä

Tietoliikennetekniikan opinnäytetyö, 41 sivua, 0 liitesivua

Syksy 2016

TIIVISTELMÄ

---

Työn tavoitteena oli tutkia, suunnitella ja toteuttaa Yritys X:lle langaton verkkoratkaisu tämän hetkiseen äänentoistojärjestelmään. Työssä tutkittiin, miten ääntä ylipäättänsä voidaan kuljettaa tietoliikenteen avulla. Langattoman signaalin lähettämistä säädellään tarkasti Viestintäviraston toimesta, koska radiotaajuudet ovat laajasti käytettyjä tietyillä taajuusalueilla. Täten käytettävät eri radiotaajuudet pitää tiedostaa ja tunnistaa millä taajuusalueilla voidaan toimia.

Yritys tarjoaa äänentoistopalveluitaan yleensä satojen ihmisten tapahtumiin, joissa tekniikan pitää toimia mahdollisimman luotettavasti ja ilman ongelmia. Langattomat ratkaisut tuovat tulevaisuudessa helpotusta tarvittaviin laitemääriin ja myöskin laitteistojen käytettävyyteen.

Työssä käsitellään erilaisia langattomia tekniikoita, joita voidaan hyödyntää jo nyt äänentoiston apuna. Radiotaajuuksien avulla ääntä voidaan kuljettaa ilman fyysisiä kaapeleita ja kytkentöjä. Langattomista tekniikoista Bluetooth ja WLAN ovat ne, joita uudet laitteet jo tukevat ja joita Yritys X:kin palveluissa voidaan käyttää tehokkaasti.

Yrityksellä on tarvittava kalusto jo hankittuna, joten työssä toteutettiin tämänhetkisellä laitteistolla langattomien tekniikoiden käyttöä myös tuotantokäytössä. Testi- ja tuotantokäytössä havaittiin langattomien järjestelmien potentiaali helpottaa järjestelmien käyttöä tulevaisuudessa. Langattomien järjestelmien häiriötekijät realisoituivat myös siten, että tämänhetkisellä kalustolla fyysinen toteutus on oltava mukana, jotta itse äänitoteutus ei pääse millään lailla kärsimään.

Asiasanat: äänentoisto, WLAN, Bluetooth, radiotaajuudet

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information Technology

Mesiä, Matias: Wireless solutions in sound system

Bachelor's Thesis in telecommunications  
pages of appendices

41 pages, 0

Autumn 2016

## ABSTRACT

---

The goal of this thesis was to make a research, plan and make a wireless solution to sound reinforcement system for Company X. Thesis includes also how sound can be transferred via telecommunications.

Wireless signals are strictly controlled by Finnish ministry of transport and communications because radio frequencies are widely used in certain bands. So when using radio frequencies there should be aware of what frequencies are made to use freely.

The company offers sound reinforcement system services usually up to hundreds of people so technology should work as reliably as it can and without any errors. Thesis also includes ways to help company's work with ways of other telecommunication techniques.

Different wireless techniques are included in this thesis, which can be helpful with sound systems. Sound can be controlled and transferred via wireless techniques without physical cables and connections. At the moment Bluetooth and WLAN are the most common and widely used wireless techniques to implement the sound system solution wirelessly.

The company already has the needed devices to implement wireless environment so the real wireless sound environment for production was build for this thesis. The potential of wireless techniques was detected in test and product environment to wireless sound systems in terms of helping it in use and making it faster in time to build up to production. Interference and other technical problems with wireless techniques were realized in production also. Physical connections have to be still with wireless techniques to carry out the production without any negative effect to the sound and production itself.

Key words: sound system, WLAN, Bluetooth, radio frequencies

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LANGATTOMAT JÄRJESTELMÄT	2
2.1	Radiotaajuudet	2
2.2	Radioaallot	3
2.3	UHF- ja VHF-taajuudet	6
2.4	2,4 GHz ja 5 GHz:n taajuudet	7
2.5	Radioaaltojen ongelmia	7
3	LANGATTOMAT ÄÄNENSIIRTOTEKNIIKAT	9
3.1	Bluetooth	9
3.2	WLAN	10
3.3	WLAN-verkon laitteisto	12
3.4	Audio over Ethernet	13
3.5	Dante	14
4	ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄ	15
4.1	Mikrofoni	15
4.2	PA	16
4.3	Mikseri	17
4.4	Analogisuus	18
4.5	Digitaalisuus	19
4.6	Langattoman äänentoiston mahdollisuudet ja ongelmat	20
5	LANGATTOMAT OSAT ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄSSÄ	21
5.1	Lähetin	21
5.2	Vastaanotin	22
6	ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN LANGATON TOTEUTUS	23
6.1	Mikserin langattoman verkon asettaminen	24
6.2	WLAN-reitittimen valitseminen	25
6.3	Käytettävän päätelaitteen valitseminen	26
6.4	Apple Ipad Air 2	27
6.5	Samsung Galaxy Tab A 5.0	28
6.6	Langattoman järjestelmän tietoturva	29
6.7	Langattomuus lavaolosuhteissa	30
6.8	Uudet langattomat toteutukset tulevaisuudessa	31

7	TOTEUTUS TUOTANTOKÄYTÖSSÄ	34
8	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	42

## LYHENNELUETTELO

802.11 – IEEE:n hyväksymä standardi langattoman lähiverkon tekniikalle

AoE – Audio over Ethernet, kun äänisignaali kuljetetaan internet-protokollan avulla

BER – Bit Error Rate, määre, jolla kuvataan tietyllä ajanjaksolla tapahtuneita virheitä datan siirrossa

Cat5 – Category 5 cable, parikaapeli, jonka kapasiteetti on maksimissaan 100 Mbit/s

Dante - Digital Audio Network Through Ethernet, digitaalinen monikanava-audioliitäntä

DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol, jakaa IP-osoitteita verkon laitteille

DSL - Digital Subscriber Line, nimitys digitaaliselle tilaajayhteydelle

Hz – Hertsi, taajuuden yksikkö, yksi hertsi tarkoittaa värähtelyjaksojen toistumista sekunnin välein

ID – Identity Document, eli jokin, jolla käyttäjä voidaan tunnistaa

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

iOS – iPhone Operating System, Applen käyttöjärjestelmä mobiililaitteille

IP – Internet Protocol eli TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla, joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta

LAN – Local Area Network, lähiverkko, joka on rajattu tiettyyn kohteeseen, esimerkiksi kouluun

MAC – Media Access Control, tarkoitetaan fyysisen laitteen yksilöllistä fyysistä osoitetta

PA – Public Audio eli äänentoistojärjestelmä

SSID – Service Set Identifier on 32-merkkinen yksilöllinen WLAN-tekniikassa käytetty tunnus

USB – Universal Serial Bus on sarjaväyläarkkitehtuuri, jolla oheislaitteita voidaan kiinnittää tietokoneisiin tai muihin laitteisiin

WAN – Wide Area Network. LAN:a laajempi verkko, joka kattaa suuria maantieteellisiä alueita.

Wi-Fi – Wi-Fi on kaupallistettu termi IEEE 802.11:lle

WEP - Wired Equivalent Privacy, vanhanaikainen WLAN-salausalgoritmi

WLAN – Wireless Local Area Network, lähiverkkotekniikka, jossa eri laitteet voidaan yhdistää verkkoon ilman kaapeleita

WPA – Wi-Fi Protected Access. WLAN:ia varten kehitetty tietoturvaprotokolla. WPA2 on vahvin saatavilla oleva salaus

WPS - Wi-Fi Protected Setup, heikko WLAN-salausalgoritmi

XLR – Äänitekniikassa käytetty liitin

# 1 JOHDANTO

Yritys X on vuonna 2012 perustettu erilaisia ääni- ja valoteknisiä palveluita tarjoava yritys. Yrityksen päätoimena on tarjota valmis äänentoistoratkaisu erilaisiin konsertteihin, tapahtumiin ja juhliin. Äänentoistoratkaisut ovat jo osittain siirtyneet langattomaksi, mutta edelleen suuri osa äänentoistoratkaisusta toteutetaan fyysisillä laitteilla ja kaapeloinneilla.

Tämän työn tarkoituksena on tutustua siihen, miten äänitekniikka on toteutettu tähän asti radiotaajuuksien avulla langattomasti ja suunnitella tulevaisuutta ajatellen mahdollisimman langaton ratkaisu Yritys X:n tuotantokäyttöön. Tämä tarkoittaa sitä, että esiintymislavan ja siellä sijaitsevien äänentoistimien välinen yhteys miksauspöydälle olisi mahdollisimman langaton. Työssä tutkitaan myös muita langattomia vaihtoehtoja konserttien toteuttamiseen esimerkiksi lavarakaisujen muodossa.

Langaton äänentoisto lähtee yleensä siitä, että musiikkia ohjataan kahden tai useamman laitteen välillä langattomasti eli esimerkiksi tablettitietokoneelta vahvistimelle (Eskola 2014). Tässä työssä tarkoituksena on ohjata langattomasti tietokoneella tai tabletilla halutussa paikassa olevia laitteita, esimerkiksi mikseriä.

Työssä keskitytään suunnittelun lisäksi myös äänisignaalin häiriöihin ja turvallisuuteen. Koska ääntä tullaan kuljettamaan radiotaajuuksilla, on niiden täytettävä tietyt lainalaisuudet. Radiotaajuuksien virheily on myös otettava huomioon, koska virheily aiheuttaa vääristymistä ja häiriöitä äänisignaaliin. Nykyaikana turvallisuus on myös otettava huomioon, jotta järjestelmä on asiakaskäytössä varmatoiminen.



## 2 LANGATTOMAT JÄRJESTELMÄT

Langattomia järjestelmiä äänentoistossa on käytössä esimerkiksi mikrofoneissa, korvamonitoreissa, erilaisten laitteiden langattomassa ohjauksessa, soittimien ja tietokoneiden tai tablettien välisissä yhteyksissä. On huolehdittava, että järjestelmä on hyvin suunniteltu, koska sillä saatetaan aiheuttaa häiriöitä myös muiden mahdollisten käyttäjien radiotaajuuksiin tai järjestelmiin. Langattomat järjestelmät käyttävät tiedonsiirrossaan radiotaajuuksia, joita käsitellään luvitsee seuraavaksi.

### 2.1 Radiotaajuudet

Radiotaajuudet ovat osa sähkömagneettisen säteilyn spektriä, joka ulottuu staattisista sähkö- ja magneettikentistä radioaaltojen ja infrapunasäteilyn kautta röntgensäteisiin. Taajuudella tarkoitetaan sähkömagneettisten aaltojen lukumäärää sekunnissa, ja taajuuden mitta on hertsi. (Elers 2016.)

Suomessa Viestintävirasto ohjaa radiotaajuuksien käyttöä.

Radiotaajuuksien valvominen ja suunnittelu tehdään tarkasti, jotta radiojärjestelmille olisi annettavissa riittävästi käyttökelpoisia ja niin häiriöttömiä taajuuksia kuin mahdollista. Lupa tarvitaan kaikille radiolähettimille, joita ei erikseen ole vapautettu luvasta.

(Viestintäministeriö 2015d.)

Kansainvälisesti ja kansallisesti radiotaajuuksia säädellään 9 kHz:n ja 3000 GHz:n välisellä taajuusalueella. Taloudellisten ja teknisten syiden vuoksi niiden käyttöä on mahdollista valvoa nykyisin vain noin 80 GHz:iin asti.

Radiotaajuuksien käyttökelpoisuuteen vaikuttavat monet seikat.

Radiolähttimen peittoalue vaikuttaa muihin radiolaitteisiin lähettimen operoimalla alueella. Mitä lähempänä laitteet ovat toisiaan taajuudeltaan ja maantieteelliseltä sijainniltaan, sitä suurempi vaikutus niillä saattaa olla toisiinsa. Mikäli laitteet aiheuttavat vuorovaikutusta keskenään, vuorovaikutus saattaa ilmetä esimerkiksi häiriöinä, siirtokapasiteetin

pienenemisenä ja siirron laadun heikkenemisenä. Suomessa arviolta yli 99 % prosenttia kaikista radiolaitteista toimii alle 10 GHz:n taajuuksilla. (Viestintäministeriö 2015c.)

Radiotaajuuksien tarkan valvonnan syyt johtuvat siitä, että vääriä taajuuksia väärinkäyttämällä voidaan aiheuttaa suuria riskejä esimerkiksi lentoliikenteelle. Ilmailutoiminnassa käytetään erilaisia radiojärjestelmiä puheviestintään lennonjohdon, ilma-alusten, lentoyhtiön ja harrastusilmailun toimijoiden välillä (Viestintäministeriö 2015a). Suomessa myös viranomaisverkko VIRVE käyttää taajuusaluetta 380–399,9 MHz (Wikipedia 2016e).

Langatonta mikrofonia saa käyttää luvasta vapautetuilla taajuuksilla 823–832 MHz, 863–865 MHz tai 1785–1804,8 MHz. Aikaisemmin langattomilla mikrofoneilla oli käytössään 790–822 MHz ja 854–862 MHz- taajuudet, mutta taajuudet siirtyivät laajakaistaverkoille 1.1.2014 alkaen. (Viestintäministeriö 2015c.) Alunperin uudeksi taajuusalueeksi mikrofoneille kaavailtiin 800 MHz:n taajuusalueen ulkopuolelta, mutta päätettiinkin pysyä alueen sisällä. Tämä mahdollistaa vanhojen mikrofoniin käytön, koska muuten mikrofoni olisivat joutuneet romutukseen, koska vanhat mikrofoni eivät tue muuta kuin 800 MHz:n taajuusaluetta. (Yle 2012.)

## 2.2 Radioaallot

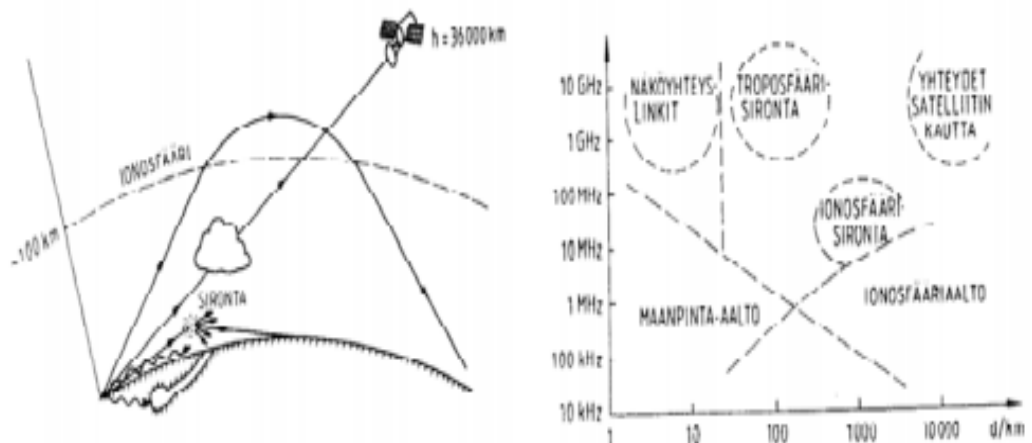
Radioaallot ovat osa sähkömagneettista säteilyä, jossa sähkökenttä ja magneettikenttä ovat kohtisuorassa toisiaan ja etenemissuuntaa vastaan. Aallonpituus tarkoittaa yhden aallon eli värähdyksen pituutta metreinä. Taajuuden kasvaessa aallonpituus pienenee. (KUVIO 1.) (Kangasalan Radiokerho RY OH3ABN 2016.)



KUVIO 1. Radioaallon kasvaminen (Kangasalan Radiokerho RY OH3ABN 2016)

Radioaallot ovat taajuusalueella 3 Hz – 300 GHz ja täten osa sähkömagneettista spektriä. Niiden välityksellä välitetään esimerkiksi radio- ja tv-lähetyksiä ja käytetään matkapuhelinta. Myös erilaiset tutkat ja mikroaaltouunit toimivat radioaalloilla. (Wikipedia 2016d.)

Radioaallot etenevät tyhjiössä, mutta myös erilaisissa väliaineissa, kuten ilmassa ja vedessä. Radioaalto syntyy kahden pisteen välisestä sähköisestä jännitteestä. Kun sähköinen jännite syntyy, jännite katkaistaan nopeasti, jolloin sähkökenttä häviää ja tilalle syntyy magneettikenttä. Kun magneettikenttä saavuttaa maksimiarvonsa, kenttä häviää ja tilalle tulee sähkökenttä ja sama toistuu jatkuvasti. Näin radioaallot etenevät ympäristössä. (Wikipedia2016d.)



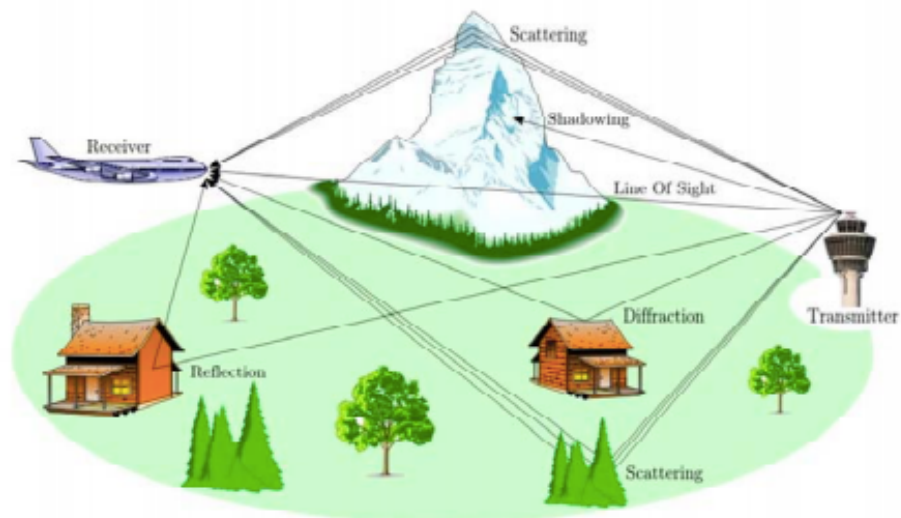
KUVIO 2. Radioaallot ympäristössä (Lang 2010, 30)

Kuviossa 2 on radioaaltojen erilaisia etenemismekanismeja ympäristössä. Radioaallot etenevät yleensä näköyhteysreittiä pitkin, ilmakehän sironnan avulla, ionosfäärin kautta tai maanpinta-aaltona.

Erilaiset olosuhteet vaikuttavat radioaaltoihin. Kaupungeissa rakennukset ja muut maastossa olevat esteet aiheuttavat heijastumista ja signaalin tehon heikentymistä. Heijastumista aiheuttavat esimerkiksi metallipinnat, joiden avulla voidaan saada myös hyödyllistä heijastumista. Radioaallot saattavat imeytyä eli absorboitua. Vesi, kasvillisuus, heikosti heijastavat materiaalit ja käytettävä taajuus aiheuttavat radioaaltojen heikentymistä. (Hallikainen 2001, 4)

Kuviossa 3 on havainnollistettuna ilmiöitä, joita langattomiin järjestelmiin aiheutuu radioaaltojen liikkeessa ympäristössä. Esimerkissä lentotornista lähetetään signaalia lentokoneeseen. Matkalla signaali voi vaimentua, heijastua (reflection), taipua (diffraction), varjostua (shadowing), siroutua (scattering) tai kulkea suoraan näköetäisyydellä (line of sight). (Lang 2010, 37.)

### Langattomissa järjestelmissä merkittävät ilmiöt



KUVIO 3. Langattomissa järjestelmissä merkittävät ilmiöt (Lang 2010, 37)

### 2.3 UHF ja VHF-taajuudet

Radiotaajuuksista UHF-taajuuksilla (TAULUKKO 1) operoidaan langattomien mikrofoniin käytössä. UHF-aallot etenevät suoraviivaisesti, ja niiden kuuluvuutta rajoittavat merkittävästi fyysiset esteet. Langattoman lähiverkon WLAN:n yleisesti käyttämä taajuusalue 2,4 GHz sijoittuu UHF-taajuuksien sisäpuolelle. UHF on tärkein käytössä olevista taajuusalueista. UHF:ta käyttävät muun muassa matkapuhelinverkot, mobiililaajakaistat 3G ja 4G, pääosa televisiolähetyksistä, langaton lähiverkko, viranomaisverkko VIRVE ja rautateiden raideliikennettä varten oleva RAILI GSM-R -verkko. (Wikibooks 2016.)

TAULUKKO 1. Radiotaajuudet (SecureIDNews 2007)

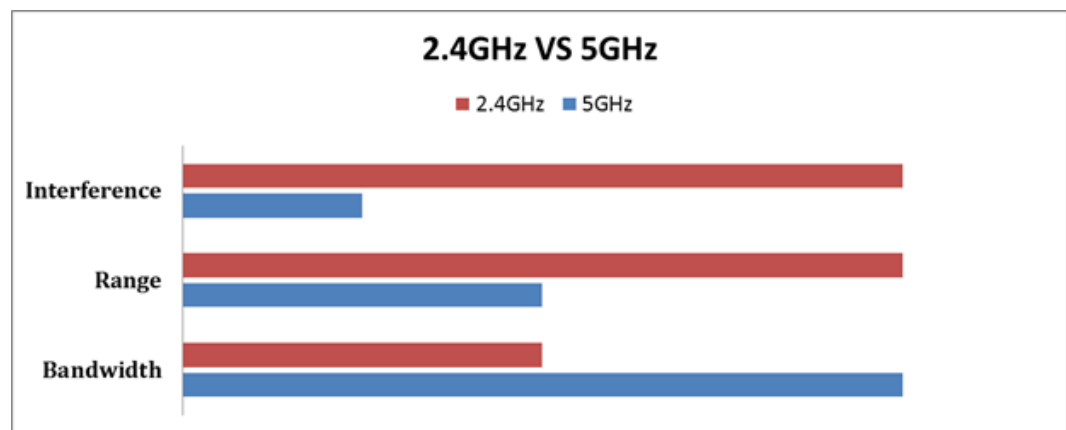
ELF	Extremely Low Frequency	3-30Hz
SLF	Super Low Frequency	30-300Hz
ULF	Ultra Low Frequency	0,3-3 kHz
VLF	Very Long Frequency	3-30 kHz
LF	Long Frequency	30-300 kHz
MF	Medium Frequency	0.3-3 MHz
HF	High Frequency	3-30 MHz
VHF	Very High Frequency	30-300 MHz
UHF	Ultra High Frequency	0,3-3 GHz
SHF	Super High Frequency	3-30 GHz
EHF	Extremely High Frequency	30-300 GHz

SHF-taajuusalueelle sisältyvät langattoman lähiverkon 5 GHz:ä käyttävät 802.11n- ja ac-tekniikat. Tällöin voidaan paikassa, jossa oletettavasti on muitakin käyttäjiä 2,4 GHz:n alueella, vaihtaa taajuutta korkeammaksi jolloin häiriöiden mahdollisuutta saadaan pienennettyä. 5 GHz:n taajuudella signaalista saadaan myös voimakkaampi ja 5 GHz:n avulla voi siirtää nopeammin dataa. 5 GHz:n signaali ei kanna yhtä pitkälle kuin 2,4 GHz:n, joten joissain tilanteissa voi olla pakko turvautua alempaan

taajuuteen. (Pocketnow 2014.) Alla kuviossa 4 havaitaan, missä UHF- ja VHF- taajuudet sijaitsevat muiden taajuuksien joukossa.

#### 2.4 2.4GHz ja 5GHz- taajuudet

WLAN-tekniikka käyttää 2.4 GHz:n ja 5GHz:n taajuuksia. Kuvioista 4 voidaan havaita 2.4 GHz:n ja 5 GHz:n ratkaisevat erot. 2.4 GHz:n taajuusalueella operoi huomattavasti enemmän laitteita, jotka aiheuttavat häiriöitä toisiinsa. 5 GHz:n alueella näitä on toistaiseksi vielä vähemmän, joten jos halutaan mahdollisimman häiriötön taajuus, on valintana 5 GHz.



KUVIO 4. 2.4 GHz ja 5 GHz (Phorus 2014)

5 GHz:n taajuudet menettävät huomattavasti voimakkuuttaan esimerkiksi seinien tai muiden esteiden kohdalla. Tällöin matalampi taajuus on eduksi, jos halutaan signaali saada mahdollisimman pitkälle. Korkeammalla taajuudella saadaan nopeammin dataa liikutettua, joten 5 GHz:n taajuus on parempi tässä tapauksessa. (Phorus 2014.)

#### 2.5 Radioaaltojen ongelmia

Radioaallot vaimenevat esimerkiksi etäisyyden tullessa liian pitkäksi tai jos ympäristö on radioaalloille vaikeakulkuista. Myös eri taajuudet vaimenevat, jolloin signaalin muoto saattaa muuttua. Korkeilla taajuuksilla

vaimeneminen on voimakkaampaa kuin matalalla sijaitsevilla taajuuksilla. Tällöin voidaan vahvistaa signaalia esimerkiksi radiomastoin tai jo lähettäessä vahvistinta käyttäen. (Juutilainen 2006, 18.)

Kanavahäiriöt ovat myös ongelma signaalia lähettäessä ja vastaanottaessa. Häiriöihin ei ole keksitty toistaiseksi mitään täysin varmaa keinoa estämään niitä. Digitaalisessa tiedonsiirrossa häiriöksi muodostuvassa virheessä ykkönen muuttuu nolaksi. Tällöin alkuperäinen signaali voi vääristyä tai muuttua. Tietoliikenteessä käytetään bittivirhesuhdetta BER (Bit Error Rate) tämän kuvaamiseen. Langattomassa äänentoistossa yleensä ainoa vaihtoehto on saada signaaliin lisää vahvistusta, koska äänen on tultava yhdellä kertaa oikein, eikä signaalia voida korjata tai lähettää uudelleen. (Juutilainen 2006, 45.)

$$\text{Bit Error Rate, BER} = \frac{\text{Number of errors}}{\text{Total number of bits sent}}$$

KUVIO 5. Bit Error Rate (Poole 2016)

Kuviossa 5 esitetään, miten BER lasketaan. Aiheutuneiden häiriöiden määrä lasketaan yhteen ja jaetaan summa lähetettyjen bittien määrällä. Bit Error Ratea käytetään niin langattomissa kuin kiinteissäkin yhteyksissä, jotta saadaan selville mahdollista virheilyä signaalissa. (Poole 2016.)

Radioaaltojen terveysvaikutuksia on tutkittu eri-ikäisillä ihmisillä jo pitkään. Tutkimuksia ovat suorittaneet niin viranomaiset, yritykset ja viestintää valvovat tahot. Tutkimuksissa on keskitytty ihmisiin vaikuttaviin biologisiin ja terveydellisiin tekijöihin. Näyttää ei tähän mennessä ole löytynyt, että normaalikäytössä olevien mobiililaitteiden tai viestintätekniiikan käytön altistuminen aiheuttaisi haittaa terveydelle. (Mobiili ja terveys 2016.)

### 3 LANGATTOMAT ÄÄNENSIIRTOTEKNIIKAT

Käydään lävitse erilaisia tekniikoita, joilla voidaan ääntä siirtää langattomasti tai muuten tietoliikennettä hyödyntäen. Osaa näistä tekniikoista voidaan myös käyttää erilaisten päätelaitteiden ohjaamiseen langattomasti. Langattomia tekniikoita kehitetään jatkuvasti, mutta niiden kehittymistä rajoittavat radiotaajuudet, joiden avulla ne toimivat. Radiotaajuuksia on rajattu määrä ja tämänhetkiset tekniikat toimivat ruuhkaisimmilla kaistoilla, joten niiden toiminnan tehostaminen ja uusien tekniikoiden luominen ei ole ollut 2010- luvulla niin nopeaa, kuin olisi voinut kuvitella.

#### 3.1 Bluetooth

Bluetooth perustuu Point-To-Point-yhteyteen, jossa kommunikointi tapahtuu kahden laitteen välillä näiden muodostaessa yhteyden. Toinen laite on isäntä ja toinen renki, verkko muodostuu jo kaksin, mutta isännällä voi olla jopa seitsemän renkiä. Bluetooth-tekniikka on vasta tulossa äänentoistojärjestelmiin esiintymiskäytössä, mutta siihen voi jo nykyäänkin törmätä tapahtumissa tai keikoilla. Bluetooth on turvallinen tapa liikuttaa ääntä, ja verkkoon liittyäkseen on isännän autentikoitava käyttäjä. Autentikoinnissa käytetään satunnaislukua, hallinnassa kahta MAC-osoitetta sekä kahta salaista avainta. Bluetoothissa siis autentikointi estää ei-halutut yhteyspyynnöt, toisin kuin radioaalloissa samoille kaistoille on aina mahdollista tulla aiheuttamaan häiriötä. (Wikipedia 2016b.)

Bluetooth toimii taajuusalueella 2,4 GHz. Uusin Bluetooth on versio 3.0, joka toimii 802.11-WLAN-yhteyttä hyödyntämällä. Versio 3.0 osaa siirtyä automaattisesti WLAN:iin suuremmissa tiedonsiirtomäärissä. Bluetooth 3.0 mahdollistaa jopa 24 megabitin siirron sekunnissa, joka vastaa esimerkiksi kahta teräväpiirtokuvaa samaan aikaan tai valtavaa määrää audiota. (Wikipedia 2016b.)

Bluetooth on alun perin kehitetty yhdistämään kuulokkeet langattomasti päätelaitteeseen. Bluetooth kompressoitua äänenlaatua, jotta tiedonsiirto olisi



laadukkaampaa. Alkuperäisessä tarkoituksessaan yhdistää kuulokkeet äänentoistolaitteeseen kompressointi vielä toimii. Laadukkaampaa äänentoistoa tavoitellessa Bluetooth toimii vielä kompromissina, koska Bluetooth käsittelee äänen ja puristaa äänenlaadun kompressoimalla pienemmäksi täten käyttämään vähemmän dataa. (Lifewire 2016.)

### 3.2 WLAN

WLAN eli Wireless Local Area Network on tekniikka, joka mahdollistaa verkkolaitteiden yhdistämisen ilman fyysisiä kaapeleita. WLAN käyttää IEEE 802.11 -standardia. WLAN-verkkoja saatetaan kutsua myös termillä Wi-Fi, etenkin yleisillä paikoilla oleviin langattomiin yhteyksiin Wi-Fi-termi usein yhdistetään. 802.11g on yleisin käytössä oleva versio, jonka maksiminopeus on 54 Mbps. (Wikipedia 2016f.)

Tulevaisuudessa langattomilla verkoilla tullaan pääsemään paljon suurempiin nopeuksiin, esimerkiksi 802.11n-tekniikalla saavutetaan jo 600 Mbps:n nopeus. WLAN:n suuriin etuihin kuuluu hyvä tietoturvasuus, koska WLAN pystytään salaamaan erittäin hyvin itse valitulla salaustyyppillä. Näitä salaustyyppejä ovat esimerkiksi WPA (Wi-Fi Protected Access). Salauksella voidaan esimerkiksi säätää verkkokorttien MAC-osoitteen tarkastaminen, jolloin yhteyden pystyy muodostamaan vain sallituille MAC-osoitteille. WLAN-salaustekniikoita on käyty läpi kuviossa 6. (Wikipedia 2016f.)

Asetus	Turvallisuus
ei salakirjoitusta	Ei ole turvallinen ilman erillistä salausta ja vastapuolen tunnistusta.
WEP-salaus	Ei suositella käytettäväksi, jos WPA- tai WPA2-salaus on käytettävissä. WEP-salaus on melko helposti murrettavissa.
WPA-salaus	Varsin turvallinen, mutta WPA2 on vieläkin turvallisempi.
WPA2-salaus	Suosittelua, vahvin saatavilla oleva salaus. Vanhat päätelaitteet eivät ehkä tue WPA2:a, mutta tukiasemat voi asettaa käyttämään WPA:ta ja WPA2:ta samanaikaisesti.
WPS-salaus	Ei suositella käytettäväksi, sillä on erittäin helposti murrettavissa. WPS-salaus kannattaa kytkeä pois päältä tukiasemasta.
piilotettu verkko (engl. disable SSID broadcast)	Ei suositella käytettäväksi, sillä asetus ei lisää yhtään tietoturvaa ja saa jotkin verkkoon kytketyt päätelaitteet lähettämään verkon nimeä silloin, kun ne eivät ole siihen yhteydessä.

KUVIO 6. Erilaisia WLAN-salaustekniikoita (Viestintävirasto 2014)

SSID eli Service Set Identifier tarkoittaa langattomalle verkolle annettua nimeä. Jotta langatonta verkkoa halutaan käyttää, pitää tietää SSID:n tunnus ja mahdollisesti annettu salasana. Yleensä langattomilla reitittimillä on oletuksena jokin SSID, mutta suosituksena on vaihtaa nimi ja salasana sellaisiksi, jotka eivät ole yleisesti laitteiden oletustunnuksina. Langattomat verkot yleensä mainostavat omaa SSID-tunnustaan, joten SSID voidaan tallentaa tunnusta käyttäville päätelaitteille, jotta päätelaitteet osaavat yhdistää siihen automaattisesti, kun tullaan WLAN-verkon kantoalueelle. (PC Mag 2016.)

WLAN-verkolla toteutettaviin ääniratkaisuihin törmää helposti esimerkiksi mikseripöydillä ja muissa laitteissa, joissa tarvitaan kauko-ohjausta. Tällöin esimerkiksi kuulutus tapahtumassa hoidetaan paikassa x, jossa miksaaja haluaa testailla ja säätää laitteitaan. Tässä tilanteessa on äärimmäisen helppoa ottaa esimerkiksi tabletti käyttöön ja ohjata mikseriä sadankin metrin päästä laitteella. Etenkin tablet-tietokoneisiin on nykyään jokaisella valmistajalla oma ohjelma, joka on räätälöity kyseisiin tuotteisiin.

Langatonta äänentoistoa tukevia laitteita kehitetään tällä hetkellä aktiivisesti, koska langattomuudella säästetään aikaa ja vaivaa. Näissä tapauksissa on myös havaittu ongelmia, koska esimerkiksi tietyn merkkisen modeemin WLAN on häirinnyt tiettyä päätelaitetta. Tilanteesta havaitaan, että WLAN:kään ei ole vielä täysin valmis tekniikka äänentoistoon, vaan WLAN:iakin täytyy vielä kehittää ja testata, jotta saataisiin vakaus ja varmuus vieläkin paremmaksi. (Wikipedia 2016f.)

WLAN-tekniikan luonteeseen kuuluu, että langattomia verkkoja luodaan vapaasti. Rajoitteena ovat radiotielle aiheutuvat häiriöt, joita syntyy vierekkäisten asemien päällekkäisistä kanavista ja sallittujen radiotaajuuksien rajallisesta määrästä. (Viestintävirasto 2014.)

Jotkin päätelaitteet kyselevät aktiivisesti ja käyttäjästä riippumatta, onko niiden muistamien verkkojen nimisiä verkkoja saatavilla. Hyökkääjä voi perustaa oman langattoman verkon, jonka nimi muistuttaa tai on sama kuin halutun verkon nimi. Saman niminen verkko voidaan myös luoda

automaattisesti päätelaitteen tätä huhuillessa. Tämän vuoksi langaton yhteys kannattaa kytkeä pois päältä aina silloin, kun yhteyttä ei tarvita. (Viestintävirasto 2014.)

### 3.3 WLAN-verkon laitteisto

WLAN-reititin on laite, joka liikuttaa dataa langattomassa verkossa. Yleensä reititin on kytketty LAN-verkkoon, WAN-verkkoon tai DSL-modeemiin. Tällöin kiinteä yhteys saadaan jaettua langattomaksi WLAN-tekniikan ansiosta. (Brooks 2016.)

Yleisesti WLAN-reitittimiä käytetään verkon jakamisen helpottamiseksi. WLAN-reitittimet mahdollistavat useamman laitteen käyttämisen verkossa ilman kiinteitä kaapeleita. Esimerkiksi voi olla tilanne, jossa on käytössä vain yksi kiinteä portti. Kun yhteen käytettävään porttiin kytketään WLAN-reititin, saadaan verkko jaettua useammalle kuin yhdelle laitteelle. WLAN-reitittimissä on myös yleensä normaaleja Ethernet-portteja, joten laite mahdollistaa myös useamman kiinteän yhteyden. (Brooks 2016.)

WLAN-reitittimellä (KUVIO 7) ei aina ole tarkoitus päästä ulkoverkkoon eli tässä tapauksessa internetiin. WLAN-reitittimellä voidaan haluta luoda vain käytettävä sisäverkko, jonka sisällä tietyt laitteet operoivat keskenään. Verkoksi voidaan asettaa esimerkiksi 192.168.1.0 verkkomaskilla 255.255.255.0. Tällöin käytössä on IP-osoitteet 192.168.1.1 – 192.168.1.254. Tämä mahdollistaa staattisten eli kiinteiden IP-osoitteiden käytön. Normaalisti reititin jakaa DHCP-protokollalla osoitteita niitä haluaville laitteille. Tässä tapauksessa voidaan reitittimen asetuksiin varata kiinteä IP-osoite tietylle halutulle laitteelle. (Bruce 2011.)

IP-osoitteella tarkoitetaan verkkoliittymän tunnistetta. Verkko 192.168.0.0/16 on määritelty vain paikalliseen käyttöön ja verkkoa ei reititetä suoraan internetiin. Verkon perässä oleva /16 tarkoittaa verkkomaskia, joka tässä tapauksessa luo mahdollisuuden 65536:een eri verkon osoitteeseen kyseisessä verkossa. Yllä oleva 255.255.255.0:n

verkkomaski taas on /24 ja täten tähän aliverkkoon kuuluu 254 osoitetta. (TKK 2008.)



KUVIO 7. Asus-merkkinen langaton reititin (Condrad 2016)

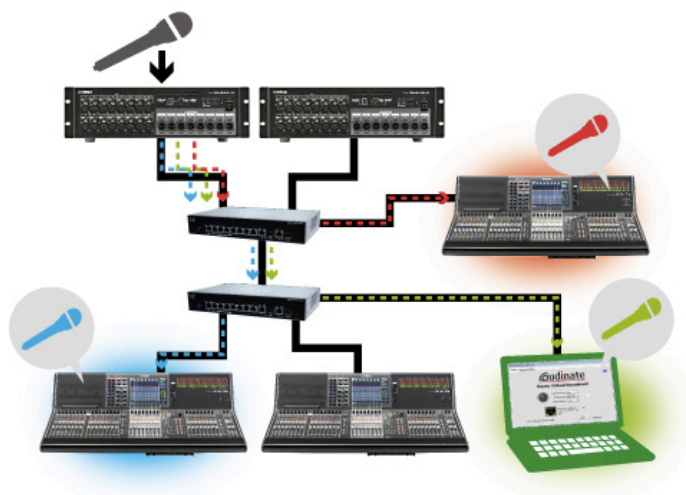
### 3.4 Audio over Ethernet

Ethernet eli pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu (LAN) ei ole alun perin suunniteltu reaaliaikaiseen datan siirtämiseen, mutta musiikkiteollisuudessa LAN on pikkuhiljaa ottanut oman osansa palapelistä. Ethernet-pohjaisessa ääniratkaisussa fyysisten kaapeleiden tarve minimoituu ja parhaimmillaan kaikki data voidaan siirtää yhdellä Cat5-kaapelilla 100 metriin asti. Kun ääni siirtyy verkossa, ei enää tarvita esimerkiksi erilaisia vahvistimia väliin, vaan vastaanottaja voi suoraan kuunnella lähetettyä signaalia äänen heikentymättä matkalla. (TFWM 2013.)

AoE-tekniikalla voidaan siirtää yhden linkin avulla 32-tai 64 kanavaa kerralla 48 kilohertsin näytteenottotaajuudella. Tämä on mahdollista Fast Ethernet- eli 100 megabittiä sekunnissa mahdollistavassa verkossa. Näistä jokaiselle kanavalle varataan yleensä yksi megabitti sekunnissa. AoE:n vasteaika on alle 10 millisekuntia, johon päästään, kun lähiverkon ominaisuudet ovat kunnossa. (Wikipedia 2016f.)

### 3.5 Dante

Dante eli Digital Audio Network Through Ethernet on AoE-tekniikkaan perustuva paljon pidemmälle viety tapa kuljettaa audiota ethernetin avulla. Dante mahdollistaa jopa yhden gigabitin linkin käytön, joka mahdollistaa 512:n samanaikaisen kanavan lähettämisen. Dante-tekniikassa jokainen linkki voidaan konfiguroida erikseen eri vasteajoista lähtien. Tämä mahdollistaa verkon jakamisen eri tarpeisiin ja on hyvinkin kustannustehokas tapa siirtää ääntä LAN:n avulla. Dante-verkon laitteet tunnistavat toinen toisensa, ja niitä ohjataan kontrollerin avulla. Dante-järjestelmällä normaalissa konserttitilanteessa voidaan esimerkiksi korvata mikseriltä lavalle menevä kaukokaapeli. (Atterotech 2016.)



KUVIO 8. Dante-äänentoistojärjestelmä (Yamaha 2016)

Kuviossa 8 on esitetty Dante-tekniikan datan kulku päätelaitteelta verkkolaitteille ja verkkolaitteilta mikserille ja muille laitteille. Dante toimii yleensä unicast-tekniikalla, eli jokainen paketti lähetetään jokaiselle laitteelle erikseen. Tämä tekniikka on varmempitoiminen ääniympäristössä, mutta aiheuttaa verkkolaitteille merkittävää kuormaa. Multicast-tekniikka mahdollistaa saman paketin lähettämisen kaikille, mikä vähentää kuljetettavan datan määrää verkossa. Tällöin verkko täytyy suunnitella eri tavalla ja vaatii enemmän työtä, mutta myös tekniikasta tulee tällöin vähemmän kuormittava ja verkkolaitteita ei välttämättä tarvita yhtä paljon. (Yamaha 2016.)

## 4 ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄ

Äänentoistojärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jossa ääni tuotetaan, muokataan ja lähetetään takaisin haluttuina äänitaajuuksina.

Äänentoistojärjestelmässä on monia erilaisia komponentteja. Ääntä tuotetaan esimerkiksi mikrofoneilla, syntetisaattoreilla tai suoratoistolla tallenteelta. (Mediacollege 2016.)

Äänen tuottaminen alkaa ääniaallosta, jonka mikrofoni huomaa ja välittää elektronisesti eteenpäin. Itsessään signaali on yleensä varsin heikko, joten ääntä tulee vahvistaa matkalla. Ääntä saatetaan myös muokata matkalla esimerkiksi mikserin avulla. Tämän jälkeen elektroninen signaali muutetaan takaisin ääniaalloiksi, jonka ihminen kuulee kaiuttimista. (Mediacollege 2016.)

### 4.1 Mikrofoni

Mikrofoni on laite, jolla joko vahvistetaan ääntä tai tallennetaan ääntä. Teknisesti mikrofoni muuttaa äänivärähtelyn sähköiseen muotoon ääntä vastaavaksi. Mikrofonin on keksitty 1800-luvun loppupuolella varhaisia puhelimia varten, mutta siitä mikrofoni jalostettiin radiokäyttöön. 1930-luvulla dynaamiset ja kondensaattorimikrofonit mullistivat äänentoiston ja tallennuksen. 1950-luvulla mentiin mikrofoniin historiassa vielä askel eteenpäin, kun langaton mikrofoni kehitettiin. (Wikipedia 2016c.)

Langattoman mikrofoniin toiminta tapahtuu siten, että mikrofoniin on mikrofonivahvistin ja radiolähetin, joka lähettää signaalin eteenpäin vastaanottiin. Tällöin vastaanotin kytketään mikseriin tai esimerkiksi lavarasiaan johdolla. Käytössä on varmistuttava saman taajuuden käytöstä ja siitä, että käytetään sovittuja sallittuja taajuuksia. Langaton mikrofoni toimii akku- tai paristovirralla. Yleensä langattoman mikrofoniin toiminta-aika on muutamasta tunnista kymmeneen tuntiin. (Wikipedia 2016c.)

Langattomat mikrofonit jaetaan kahteen ryhmään: käsilähettämiin ja taskulähettämiin. Käsilähetin tarkoittaa sitä, että mikrofonissa on jo itsessään lähetin ja mikrofoni muistuttaa tavallista lauluun tai puhumiseen käytettyä mikrofonia. Taskulähettimellä tarkoitetaan esimerkiksi vyöhön kiinnitettävää laatikkomaista esinettä, johon kytketään esimerkiksi instrumentin johto. Alla olevassa kuviossa (KUVIO 9) on käsilähettimellinen mikrofoni malli. (Wikipedia 2013e.)



KUVIO 9. Langaton mikrofoni ja vastaanotin (Audio 2000s 2016)

#### 4.2 PA

PA tulee sanoista Public Address, vaikka nykyään PA tarkoittaa enemmän välillä käytettävää termiä Public Audio. PA-laitteiden määritelmä on normaalia stereolaitetta suurempikokoinen äänentoistolaitteisto. Nykyään tekniikka mahdollistaa jo todella pienikokoisetkin tehokkaat PA-laitteet, mutta yleisesti PA-laitteista saatu mielikuva on isokokoinen ja fyysisesti raskastekoinen. Yksinkertaistettu PA-laitteisto sisältää mikrofonin ja aktiivikaiuttimen. Keikkakäytössä PA-laitteistoon voi nykyään myös yleisesti laskea mikserin ja subwooferin. Alla olevassa kuviossa 10 on PA-laitteistoa kaiuttimien muodossa. (Aikio 2003.)



KUVIO 10. PA-laitteisto (White 2012)

PA-laitteisto (KUVIO 10) voi sisältää myös erilaisia efektejä, jotka voidaan esimerkiksi asentaa räkkiin. Lavalla tai esiintymispaikalla on siis yleensä passiivi- tai aktiivikaiuttimia ja monitorikaiuttimia esiintyjää varten. Instrumentit kuljetetaan mikseriin lavarasiaa pitkin, mutta nykyään voidaan hyödyntää jo tässäkin RJ-45-kaapelia, joka mahdollistaa helpommin saman asian. Monitorointi voidaan myös suorittaa langattomasti, jolloin mikseristä lavalle tulevasta rasiasta voidaan ottaa langattomaan vastaanottimeen signaali, joka jaetaan langattomiin korvamonitoreihin soittajille tai esiintyjille. Nykyään niin keikoilla, teatterissa, tapahtumissa ja televisiossakin on laajalti käytössä langaton monitorointi. Tällöin esiintyjä voi kuulla juuri mitä haluaa eikä tarvitse välittää muusta metelistä. (Aikio 2003.)

#### 4.3 Mikseri

Mikserillä ohjataan kaikkea ääntä, mitä tuotetaan yhdistettäväksi. Kun halutaan useat eri äänisignaalit kasata yhteen ja alkaa muodostamaan niistä yhteistä tasaista äänimaisemaa, tarvitaan mikseriä. Mikserillä voidaan säätää eri kanavien äänenvoimakkuuksia tai ääniraitojen ominaisuuksia halutuiksi. Yleisesti mikseriin tuodaan ääntä tuottavia kanavia sisään ja ajetaan siitä ulos stereona haluttua äänimaisemaa ulos esimerkiksi PA:sta. (Elsea 2016.)





KUVIO 11. Analoginen mikseri (F-Musiikki 2016)

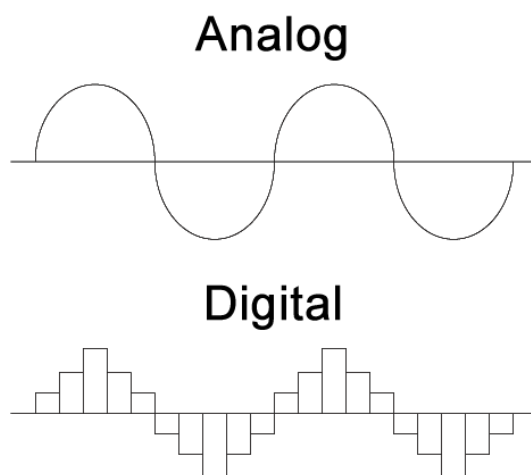
Kuviossa 11 on tavallinen vanhanaikainen analoginen mikseri. Mikserin ylälaitaan laitetaan sisään tulevat signaalit XLR-liittimillä olevilla mikrofonikaapeleilla. Mikserin takana tai etupaneelissa on lähdöt PA:ta varten oikealle ja vasemmalle kanavalle. Uudemmissa mikserieissä digitalisoitumisen ansiosta on jo esimerkiksi USB-kytkentämahdollisuus ja langattomat ominaisuudet. Tällöin mikserieitä voidaan ohjata langattomasti ja myös nauhoittaa miksattua ääntä helposti siihen kytketylle päätelaitteelle. (Yamaha 2016.)

#### 4.4 Analogisuus

Analogisella signaalilla tarkoitetaan jatkuva-aikaista signaalia (KUVIO 12), joka voi saada minkä tahansa arvon minä tahansa ajan hetkenä. Analogista informaatiota voidaan tallettaa ja tuottaa uudelleen, mutta menetelmät ovat epätarkkoja. Esimerkiksi ihmisen puheen aiheuttama paineenvaihtelu ilmassa voidaan mikrofonilla muuttaa sähköiseksi analogiseksi signaaliksi, tallentaa magneettinauhalle, lukea uudelleen magneettinauhalta, muuttaa ensin sähköiseen muotoon ja tämän jälkeen kaiuttimissa takaisin paineen vaihteluiksi, ja siis ihmisen korvilla kuultavaan muotoon. (Grönman 1999.)

Signaalin prosessiketjuun liittyy kuitenkin paljon epätarkkuustekijöitä. Ensin muutettaessa ääntä ilmanpaineenvaihteluista sähköiseen muotoon tapahtuu approksimoitaja, jotka johtuvat esimerkiksi mikrofonissa käytetyistä komponenteista, jotka omaavat hitauksia, ja eivät voi tarkasti

värähdellä ilmanpaineen vaihtelun tahdissa. Sähköinen signaali on siis epätarkka esitys äänestä. Samoin jokaisessa muussa äänen tallentamis- ja tuottamisvaiheessa syntyy vääristymiä, jolloin uudestaan synnytetty ääni on enemmän tai vähemmän samankaltainen kuin aiemmin tallennettu ääni, riippuen muunnoksissa ja siirroissa käytetyistä komponenteista. (Grönman 1999.)



KUVIO 12. Analogisuuden ja digitaalisuuden ero (Padveen 2015)

#### 4.5 Digitaalisuus

Digitaalisella signaalilla tarkoitetaan tiedon lähettämistä muodossa, jossa informaation kuljettamiseen käytetään analogisia signaaleita, mutta joiden tila tietyllä hetkellä voidaan tulkita olevan joko yksi tai nolla. (KUVIO 12.) Digitaalista informaatiota kuljetetaan yleensä sähköisillä signaaleilla, joissa jokin signaalin ominaisuuksista kertoo välitettävän digitaalisen informaation. (Grönman 1999.)

Esimerkiksi, jos sähköisen signaalin amplitudi ylittää tietyllä hetkellä tietyn arvon, se tulkitaan ykköseksi, muuten nollaksi. Tiedon välittämiseen voidaan myös käyttää sähköisen signaalin muita ominaisuuksia, kuten taajuutta tai vaihetta. (Grönman 1999.)

#### 4.6 Langattoman äänentoiston mahdollisuudet ja ongelmat

Latenssilla tarkoitetaan määrettä, joka signaalilta kestää kulkea paikasta A paikkaan B. Mahdollisimman matala latenssi on tavoiteltava ominaisuus niin tietoliikenteessä kuin äänentoistossakin. Yleisesti ottaen latenssissa 20 - 30 millisekunnin viive on sopiva arvo. (Bar 2015.)

Jitter on aikatasossa syntyvä virhe, joka johtuu vaihtelevista viiveistä digitaalisessa signaaliketjussa. Siihen voivat olla syynä esimerkiksi virtalähteen huono maadoitus, heijastukset piireissä ja kaapeleissa (siirtotie-jitter) tai epätarkka kellosignaali lähettimessä tai vastaanottimessa (kello-jitter). Jitter saattaa aiheuttaa sen, että täydellisenä kanttiaaltona lähtenyt signaali pyöristyy tai vääristyy, jolloin vastaanotin tulkitsee bitin väärin. (Hifimaailma 2011.)

Packet loss terminä tarkoittaa lähetettävien pakettien häviämistä. Jokaisessa langattomassa tekniikassa on mahdollisuus ja todennäköisyys pakettien häviämiseksi. Mikäli ongelmia esiintyy, lähettäjä joutuu lähettämään paketteja uudelleen tai vikaantuessa saattaa jopa lähettää joka paketin uudelleen. Tämä aiheuttaa kuormittumista lähettimelle ja vastaanottimelle ja täten ongelmia signaalin eheyteen. (Bar 2015.)

## 5 LANGATTOMAT OSAT ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄSSÄ

Äänentoistojärjestelmän langattomat osat koostuvat pääperiaatteiltaan lähettimestä ja vastaanottimesta. Yksinkertaisesti: tuotettu ääni tulee vahvistaa, lähettää ja tämän jälkeen vielä mahdollisesti vastaanottaa ja vahvistaa. Äänen signaali esimerkiksi laulajalta äänentoistojärjestelmään kulkee eri laitteita ja osia pitkin mahdollistaen ja muodostaen sen, mitä kaiuttimista kuulemme.

### 5.1 Lähetin

Langattoman järjestelmän tärkein osa äänentoistossa on lähetin. Lähetin kiinnitetään yleensä soittajan instrumentin hihnaan tai muuhun paikkaan, jossa lähetin on lähellä instrumenttia paikassa, jossa lähetin ei häiritse suoritusta. Laadukkaimmissa lähettimissä on sisääntulon herkkyuden säätö, jolla instrumentin signaalin tasoa voidaan hienosäätää. Lähettimiä voi tarvita myös useita soittajaa kohden, koska eri instrumenteilla voi olla erilainen signaalitaso. Signaalin tasoon voidaan vaikuttaa myös lähettimessä ulostulotehon säätämällä, jolla voidaan varmistaa paras mahdollinen taso signaalin siirtyessä vastaanottimelle. (Aroluoma 2013.)

Lähettimet voivat olla kiinteitä tai kannettavia. Kiinteille on oma virtalähde, ja kannettavat toimivat pattereilla. Langattomia lähettimiä on kolmessa eri muodossa: suoraan soittimen tai vahvistimen ulostuloon kiinnitettäviä, vartaloon tai instrumenttiin kiinnitettäviä tai kädessä pidettäviä. Vartaloon kiinnitettävät lähettimet sisältävät yleensä kiinnikkeen, jolla lähetin voidaan liittää esimerkiksi soittajan vyölle. Lähettimiin signaali tulee yleensä kaapelilla. (Vear 2005, 9.)

Lähettimien tehtävä on siis muodostaa sisään tulevasta signaalista kanta-aalto, joka moduloituna lähetetään radiosignaalina vastaanottimelle. Radiosignaalin tulee olla siten tehokasta, että signaalin laatu säilyy ja signaalin lähetys onnistuu lähettimellä. (Vear 2005, 9.)

## 5.2 Vastaanotin

Vastaanotin muuntaa lähettimeltä tulevan radioaallon takaisin audiosignaalksi. Vastaanotin karsii mahdolliset häiriöt signaalista pois tunnistamalla halutun taajuuden ylä- ja alapuolelta radioaaltoja.

Normaalisti vastaanottimiakin on yksi kappale, jolloin lähetin ja vastaanotin muodostavat oman järjestelmänsä. (Vear 2005, 12.)

Vastaanotin voi olla fyysinen tai kannettava. Yleensä vastaanottimet sijoitetaan lavan reunalle räkkiin eli laiteteleeseeseen tai kaappiin. Tällöin mahdollistetaan usean eri vastaanottimen sijoittaminen fyysisesti samaan paikkaan, jolla selkeytetään lavalle sijoitettavaa tekniikkaa.

Vastaanottimen sijoittamisessa myös mahdollisimman lähelle vahvistimia sijoittaminen auttaa kaapelointien mahdollisimman pieniä välimatkoja. (Aroluoma 2013.)

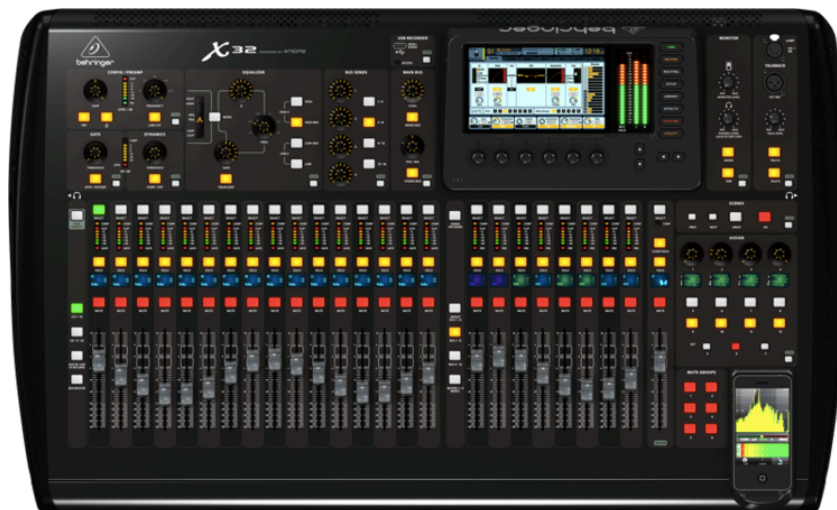
## 5.3 Vahvistin

Vahvistin lisää signaalin voimakkuutta eli amplitudia. Signaali vahvistimeen voi saapua 100 mikrowatin teholla, mutta lähteä vahvistimesta jopa tuhansien wattien teholla. Audiovahvistimet ovat yleensä 20 - 48:n desibelin luokkaa äänenvoimakkuudeltaan. (Future electronics 2016.)

Vahvistin käyttää tehoa, jotta vahvistin voi tuottaa tehoa kaiuttimen ohjaamiseen. Watti lasketaan jännitteen ja virran tulosta, joten tehoon tarvitaan jännitettä ja virtaa. Vahvistus tehdään usein transistoreilla ja ohjaavana signaalina käytetään äänisignaalia. (Autosound 2016.)

## 6 ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN LANGATON TOTEUTUS

Tässä toteutuksessa äänentoistojärjestelmä perustuu Behringer X32-digitaalimikserin (KUVIO 13) ympärille.



KUVIO 13. Behringer X32-digitaalimikseri (Sessler 2013)

Behringer X32:n WLAN-ominaisuuksia on käytetty yrityksessä vuodesta 2014 alkaen. Suurissa yleisötapahtumissa langattomat ominaisuudet voivat toimia täysin eri tavalla kuin testiympäristössä. Tähän suurin syy piilee ihmisten matkapuhelimeissa, joissa useista on WLAN-ominaisuus päällä. Tämä tuo häiriösignaaleja ja aiheuttaa pienenkin mahdollisuuden teknisiin ongelmiin. Tätä varten on pitänyt miettiä erilaisia laiteratkaisuja, jotta etenkin matkapuhelimet eivät häiritse äänentoistoa tilaisuuksissa.

Ensisijaisesti mikseri halutaan etäohjattavaksi päätelaitteilla, esimerkiksi tableteilla. Tämä mahdollistaa miksaajan liikkumisen eri paikoissa tunnustellen paikan akustiikkaa ja miksaustyön jälkeä.

Lavalla langatonta kalustoa on tällä hetkellä vain mikrofoneissa.

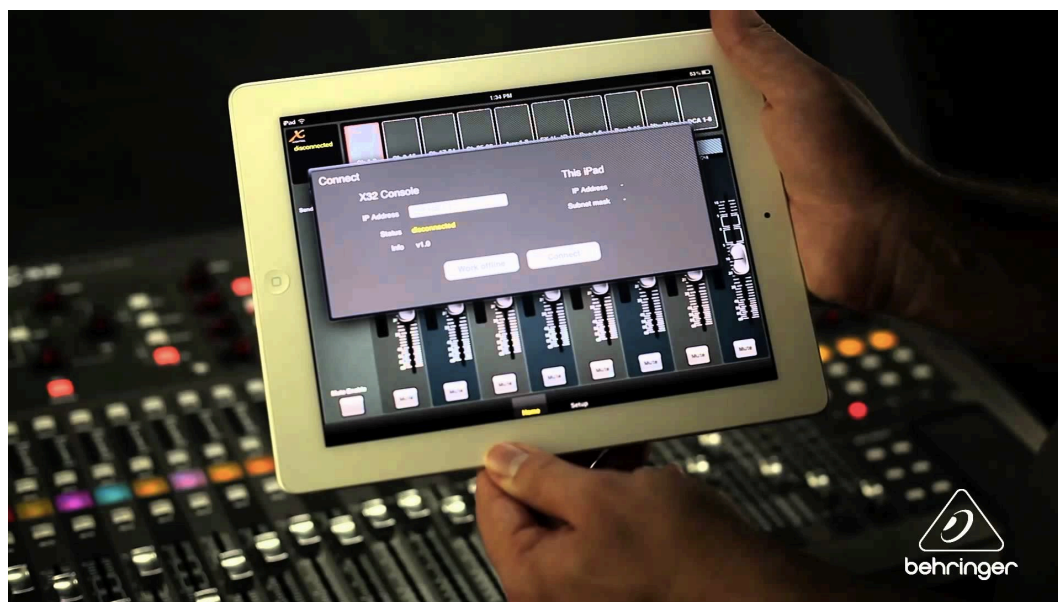
Tulevaisuudessa esimerkiksi erilaiset päätelaitteet tulevat varmasti olemaan langattomasti ohjattavia malleja.

## 6.1 Mikserin langattoman verkon asettaminen

Ensimmäinen huomioitava asia on asettaa langattomalle verkolle SSID ja salasana. Tällä vältetään muiden tuntemattomien liittyminen verkkoon ja täten mahdollisuus heikentää tai häiritä verkkoa. WLAN-reitittimen käyttö mahdollistaa staattisten eli kiinteiden osoitteiden käytön. Tämä saattaa suljetussa verkossa olla ratkaiseva tekijä, mikäli halutaan tehdä verkosta mahdollisimman häiriötön.

Yleisesti WLAN-reitittimissä staattiseksi osoiteavaruudeksi on valittu 192.168.1.0 ja verkkomaskiksi 255.255.255.0. Tässä tapauksessa mahdolliset päällekkäisyyden riskit on hyvä ottaa huomioon ja tehdä oma verkko johonkin muuhun avaruuteen. Esimerkiksi 192.168.13.0-verkon käyttö voi tuoda ratkaisevan muutoksen.

Behringer X32:n manuaalissa ei kerrota mitään DHCP-mahdollisuudesta, vaan mikserille annetaan kiinteä IP. Tällöin olemme tilanteessa, jossa mikserille on varattava oma IP. WLAN-reitittimelle tehdään siis varaus IP-osoitteelle 192.168.13.50 ja asetetaan IP laitteelle (KUVIO 14).



KUVIO 14. Mikserin IP-hallintaosoitteen antaminen tabletille (Behringer 2012)

Myös käytettävä taajuus on otettava huomioon. Mikäli käytettävä matka on pitkä, voi 5 GHz:n kantama olla liian lyhyt tai signaali liian heikko. Muuten 5 GHz:n käyttö on perusteltua, mikäli tarvittava matka on sille suotuisa. Jos ihmismassaa on paljon ja matkaa yli 50 metriä, joudutaan taajuuksien käyttöä miettimään. Tässä tapauksessa voidaan jopa harkita useampia reitittäjiä, jotta signaalin peittoalue saataisiin mahdollisimman kattavaksi.

## 6.2 WLAN-reitittimen valitseminen

Tavoitteeksi WLAN-reitittimelle asetettiin mahdollisimman pitkä kantomatka 5 GHz:n taajuudella. Yleisesti ottaen 50 metrin kantama on riittävä yrityksen toimintaan, joten pidemmälle tässä tapauksessa ei ole tarvetta päästä. Toteutuksen hinta/laatu-suhde on saatava mahdollisimman tehokkaaksi, joten jos laatua saadaan halvemmalla, on tämä laskettava eduksi.

Linksysin WRT1900ACS ja noin puolet halvempi Netgearin R6220 valittiin kahdeksi vaihtoehdoksi vertailuun tuotantokäyttöön tulevaisuudelle WLAN-reitittimeksi. Molemmat näistä reitittimistä tukevat haluttuja 802.11n (2.4 GHz ja 5 GHz) ja 802.11ac (5 GHz) taajuuksia. Erot tulevat tässä tapauksessa nopeuksista pidemmän matkan päästä.



KUVIO 15. Lyhyen matkan kantama (Nadel & Michaels 2016)

Kuviosta 15 havaitaan kalliimman Linksysin voittavan lähietäisyyden datansiirrossa. Tällä ei tosin ole merkitystä reitittimen valinnassa, vaan meriittinä pidetään tässä tapauksessa pidemmän etäisyyden mahdollisuutta. Muutamasta metristä useaan kymmeneen metriin pystytään kuitenkin havainnoimaan, kuinka paljon signaali heikkenee reitittimissä.



**Wi-Fi Performance: 140 Feet**  
 Uses IxChariot to measure throughput at distances from 5ft to 140ft.  
 Measured in Mbps. Higher is better.



KUVIO 16. Pidemmän matkan kantama (Nadel & Michaels 2016)

Kuviosta 16 havaitaan molempien reitittimien pääsevän haluttuun matkaan (140 jalkaa = n. 43 metriä) ilman esteitä. Tässä tapauksessa valittiin Netgear voittajaksi hintansa perusteella. Netgearin reitittimellä (KUVIO 17) oli myös pidempi kantomatka, joka oli asetettu kriteeriksi.



KUVIO 17. Netgear R6220 -reititin (Amazon 2016)

### 6.3 Käytettävän päätelaitteen valitseminen

Behringer 32X:n käyttöön tarkoitettu etäohjelmisto on saatavilla niin Applen iOS-käyttöjärjestelmälle kuin Androidillekin. 32-Mix:n avulla voidaan etäkäyttää mikseriä mobiilisti niin kaukaa, kuin langattoman verkon kantama antaa sille mahdollisuuden. Ohjelman avulla voidaan rajattomasti säätää mikserin ominaisuuksia yleisesti PA:sta tulevasta äänestä lavalla sijaitseviin monitoreihin asti. 32-Mix asennetaan tablettiin ja mikseri kytketään samaan lähiverkkoon. Tällöin ohjelmisto osaa ottaa yhteyden mikseriin ja alkaa etäohjata mikseriä. (Apple 2016a.)

Yleisesti ottaen tabletin käyttötarkoitus on ohjata mikseriä etänä. Joten tabletin kestävyys työ-ympäristössä ja akun kesto ovat tärkeimpiä määreitä tässä tapauksessa. Verrattaviksi valikoituvat Android-käyttöjärjestelmää käyttävä Samsung Galaxy Tab A 5.0 9,7” ja Apple iPad Air 2 16 Gt 9,7”. Applen iPad on noin puolet Samsungin laitetta kalliimpi, joten tämä on otettava huomioon, mikäli laitteet ovat samantasoisia käytettävyydeltään.

#### 6.4 Apple iPad Air 2

Applen iPad Air 2 (KUVIO 18.) on julkaistu vuonna 2014. iPad käyttää Applen omaa iOS 9.3 -käyttöjärjestelmää. X32-Mix on ladattavissa ilmaiseksi Applen App Storesta tähän laitteeseen. Laite tukee tarvittavia 802.11n- ja ac WLAN -standardeja. Multimediakäyttöä laitteelle on ilmoitettu 10 tuntia, joka riittää tarvittavaan mikserin ohjaukseen.



(GSMarena 2016.)

KUVIO 18. Apple Ipad Air 2 (GSMarena 2016)

Applen App Store on tarkoitettu Applen iOS-käyttöjärjestelmää käyttäville Applen laitteille. Sieltä on mahdollista ladata ohjelmia, musiikkia, kirjoja ja

muuta yleishyödyllistä mediaa ilmaiseksi tai maksua vastaan. App Storeen tarvitaan Applen ID-tunnus, jotta latauksia voidaan tehdä. (Apple 2016a.)

### 6.5 Samsung Galaxy Tab A 5.0

Samsungin tabletti Galaxy Tab A 5.0 (KUVIO 19) on koonkin puolesta vastaava kuin Applen tabletti. Käyttöaikaa sille ilmoitetaan yli 10 tuntia WLAN-käytössä. Samsungin laitteella on käytössä Android-käyttöjärjestelmä, joten ohjelma ladataan Google Play -palvelun kautta.

Google Play -palvelu on tarkoitettu yhteensopiville Android-laitteille sovellusten asentamiseen palvelun kautta. Palveluun tulee luoda Google-tili, mikäli sovelluksia halutaan asentaa omiin päätelaitteisiin. Kohteet voivat olla joko ilmaisia tai maksullisia. (Google 2016.)



KUVIO 19. Samsung Galaxy Tab A 5.0 (Verkkokauppa.com 2016)

Koska aiemmin mikseriä on käytetty Applen Ipadin vanhemmalla mallilla onnistuneesti, valikoituu myös uudempaan suunnitelmaan Apple Ipad Air 2. Tätä puoltaa myös mahdollinen Applen kannettavan tietokoneen lisääminen mikserille mahdollisia konserttien nauhoittamisia varten. Applen laitteet tunnetusti toimivat keskenään hyvin yhteen yhteisen iOS-käyttöjärjestelmänsä perusteella ja käyttöliittymältään ovat hyvin suosittuja

eri mediamuotojen käsittelyyn. Applella käytetty X32-Mix-ohjelmisto kuvattu kuviossa 20.



KUVIO 20. X32-Mix-ohjelmisto Apple iPadilla (Apple 2016b.)

## 6.6 Langattoman järjestelmän tietoturva

Valittu järjestelmä koostuu siis tällä hetkellä mikseristä, reitittimestä ja tabletista. Vaikka kyseinen järjestelmä ei olekaan kiinni ulkoverkossa, on otettava huomioon vaihtoehdot, joissa jokin ulkopuolinen pääsisi aiheuttamaan häiriötä tai harmia yrityksen päätoimeen eli äänentoistoon.

Tietoturvalla pyritään suojaamaan yritykselle tärkeät tiedot ulkopuolisilta. Kysymys on siis toimenpiteistä, jotka takaavat yhtiön tietojen koskemattomuuden. Tietoturvalle on asetettu tiettyjä tavoitteita, joita ovat yksilön tai organisaation annettujen tietojen luottamuksellisuus, eheys, kiistämättömyys, pääsynvalvonta, saatavuus ja tarkastettavuus. Jotta tiedot ovat luottamuksellisia, niiden on oltava vain niihin oikeutettujen käytössä. Tiedoilla ja dokumenteilla on turvaluokitus, joka määrittelee, kenellä on oikeus tietojen käyttöön sekä säilytykseen ja tuhoamiseen. (Internetopas 2016.)

Tietoturvalla äänentoistoyrityksessä pyritään varmistamaan asiakkaalle mahdollisimman laadukkaasti toteutettava palvelu. Missään tapauksessa kukaan ulkopuolinen ei voi päästä hallittaviin laitteisiin kiinni fyysisesti tai

langattomasti. Kaikki päätelaitteet on suojattava tarpeeksi pätevin salasanoin, jotta laitteet eivät ole tietoturvariskejä yrityksen kannalta.

Salasanan murtamisen vaikeuteen vaikuttaa kriittisesti merkkien määrä: mitä pidempi salasana on, sitä vaikeampi salasana on murtaa. Hyvän salasanan minimipituus on 8 merkkiä, mutta salasana tulee mielellään olla 12 merkkiä tai enemmänkin. Hyvä salasana koostuu isojen ja pienten kirjainten, numeroiden ja erikoismerkkien yhdistelmästä, mutta salasana ei kuitenkaan ole ulkopuolisten arvattavissa, näin ollen salasana ei voi olla perheenjäsenen syntymäpäivä tai vaikka äidin tyttönimi. (Domainkeskus 2016.)

## 6.7 Langattomuus lavaolosuhteissa

Yrityksellä on esiintymislavalla langattomista tekniikoista käytössä langattomia mikrofoneja. Mahdollisuus langattomuuteen on myös instrumenteissa, mikäli soittajilla on omat langattomat lähettimet ja vastaanottimet. Näistä vastaanotin kytketään lavarasiaan xlr-mikrofonikaapeleilla. Aikaisemmin lavarasialta on lähtenyt kaapeli, joka lopuksi menee fyysisesti kiinni mikseriin. Tämän työn yksi aiheista oli tutkia mahdollisuutta nykyaikana tuoda lavalta langattomasti signaali mikserille.

Lavaratkaisuun samalta yritykseltä, Behringeriltä on julkistettu malli X AIR XR12 (KUVIO 21), joka mahdollistaa lavaäänten miksaamisen langattomasti jokaiselle soittajalle. Täten laite mahdollistaa jokaiselle ääntä, esimerkiksi korvamonitoriinhin tarvitsevalle oman säädön langattomasti tabletin avulla omalta paikalta. Esimerkiksi tässä tapauksessa: laulaja laulaa langattomaan mikrofoniin, signaali menee lähettimeltä vastaanottimelle ja vastaanottimelta kulkee kaapeli kiinni lavamikseriin.

Kun muidenkin muusikoiden äänisignaalit on tuotu mikserille langallisesti tai langattomasti, voidaan toteuttaa niistä haluttu miksaus jokaisen omiin langattomiin korvamonitoriinhin. Tämä äänisignaali liikkuu langattomasti lähettimeltä korvamonitorin vastaanottimeen. Korvamonitoriin haluttu ääni

on yleensä jokaisella erilainen, jokainen on mieltynyt kuulemaan lavaäänien omaan korvaansa tietynlaisena. Jos halutaan korostaa kesken esiintymisen omaa signaalia, voidaan nosto tehdä tabletilla langattomasti WLAN:n avulla.



KUVIO 21. X Air XR12 -lavamikseri (Music Group 2016)

Useamman vuoden on jo voinut viedä molempiin suuntiin ääntä cat-5-ethernetkaapeleilla. Tämä helpottaa jo todella paljon fyysistä urakkaa äänentoistossa. Ethernetillä voidaan viedä 50 - 100metrin matka, ilman että äänessä tapahtuu minkäänlaista viivettä. Päinvastoin tämä vähentää häiriöitä äänessä huomattavasti. Cat5-kaapeliratkaisulla voidaan viedä 32-64 raitaa äänisignaalia, joka riittää ja ylikin yrityksen tarpeisiin. Cat5-kaapeli on myös todella helppoa viedä esimerkiksi seiniä pitkin, joten ei ole tarvetta viedä kaapelia perinteisesti keskeltä esiintymispaikan lattiaa pitkin metallikourun alla suojassa mahdolliselta fyysiseltä kontaktilta. (Frink 2016.)

Yllämainittu ethernet-pohjainen ratkaisu lavarasian ja mikserin väliin on tulevaisuudessakin suurella todennäköisyydellä suosituin tapa kuljettaa ääntä. Langaton äänentoisto WLAN-tekniikan tai minkään muun langattoman tekniikan avulla ei ole vielä sillä tasolla, että äänentoisto olisi aina kustannustehokkaampaa tai häiriövarmempaa.

## 6.8 Uudet langattomat toteutukset tulevaisuudessa

Tällä hetkellä langattomia toteutuksia voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti ja analogisen toteutuksen veroisesti erityisesti monitoroinneissa ja erilaisissa etäohjauksissa. Monitoroinnilla tarkoitetaan, että esimerkiksi puhuja tai laulaja kuulee omaa ääntään vieressä olevasta kaiuttimesta tai korvanapeista eli In Ear -kuulokkeista. Näiden signaali toteutetaan nykyaikaisesti radiotaajuuksia hyödyntäen. Yrityksellä ei ole omia In Ear -kuulokkeita, koska kuulokkeet yleensä ovat suunniteltu yksilöllisesti niitä tarvitseville käyttäjille. Lähtökohtaisesti pelkästään In Ear-pohjainen monitorointi helpottaisi yrityksen tarvittavaa fyysistä laitemäärää huomattavasti. Tällöin voitaisiin hankkia tarvittava määrä lähettimiä ja niille tarvittava määrä vastaanottimia.



KUVIO 22. Langaton vastaanotin ja lähetin In Ear -järjestelmässä (Nady 2015)

Kuviosta 22 selviää langattoman monitorointijärjestelmän yksinkertaisuus. Molempiin laitteisiin säädetään sama taajuus, jolla laitteet löytävät toisensa, ja ääntä voidaan siirtää haluttua radiotaajuutta pitkin. Lähettimeen kytketään fyysisesti kuulokkeet tai yksilöllisesti räätälöidyt kuulokkeet. Lähettimen ja kuulokkeiden välinen yhteys on ainakin toistaiseksi hyvin hankala toteuttaa langattomasti. Lähimpänä olisi toiminnaltaan Bluetooth-tekniikalla tehty toteutus, mutta siinä viiveet nousisivat liian korkeiksi live-tilannetta ajatellen. Kuulokkeiden on tarkoitus

olla myös kevyet ja huomaamattomat, joten niissä ei ole toistaiseksi radiotaajuuksia mahdollistavia ominaisuuksia.



KUVIO 23. Instrumentin langaton toteutus (Samson 2016)

Kuviosta 23 nähdään, että instrumenttiin kytkettävä lähetin omaa antennin jo omasta takaa, jolloin toteutuksessa vastaanotin voi sijaita esimerkiksi lavan reunassa. Toteutukset toimivat UHF-taajuuksilla, eli 0,3-3 GHz:n alueella.

Mikserin ohjaamiseen langaton toteutus on siis toteutettu WLAN-tekniikalla ja se on luotettavuudeltaan valmis tuotantokäyttöön. Samoin myös esimerkiksi henkilökohtaisten monitorointien säätäminen päätelaitteilla onnistuu WLAN:n avulla. Tämä toteutus siis tulee olla valmiiksi etukäteen tehtynä, koska esimerkiksi iPad 2:n näyttö on pienehkö; sillä ei voi tuotantotilanteessa tehdä suuria muutoksia tehokkaasti.

Langaton ohjaus siis tarkoittaa tabletilla, että äänenvoimakkuuksia on helppo säätää haluttuihin laitteisiin tai nostaa tiettyjen esiintyjien äänenvoimakkuutta PA:sta. Pieniä hienosäätöjä on mahdollista tehdä tabletilla, mutta efektien ja muiden ääntä muokkaavien ominaisuuksien tulee olla tehty kanaviin jo etukäteen. Tässä tapauksessa fyysinen mikseri on vielä tabletteja käyttökelpoisempi, mutta jos kaikki on säädetty kohdalleen ennen tuotantokäyttöä, niin laadullisesti yhtä pätevä äänentoisto onnistuu. Tabletilla siis samat ominaisuudet toimivat, mutta koska kaikki tapahtuu kosketusnäytöllä, niin tämä aiheuttaa sen, ettei tuotantoa tehdessä nopeasti pystytä haluttuja ominaisuuksia säätämään.



## 7 TOTEUTUS TUOTANTOKÄYTÖSSÄ

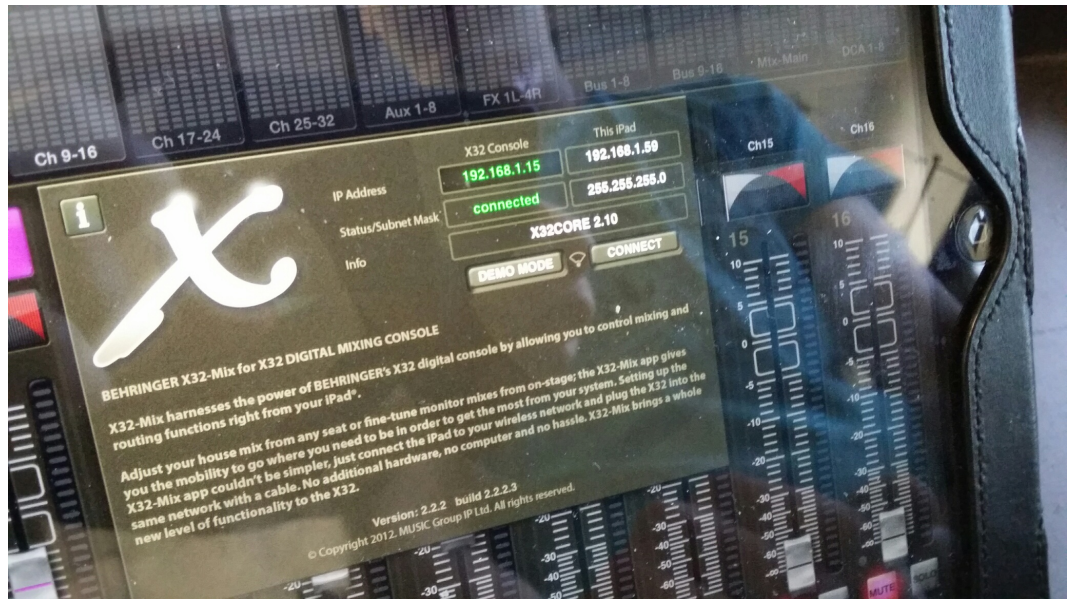
Äänen ohjaaminen WLAN-tekniikalla päästiin toteuttamaan tuotantokäytössä onnistuneesti 14.5.2016. Toteutus rakennettiin edeltävällä viikolla niin valmiiksi, että toteutus oli niin sanotusti plug and play käytettävissä konserttitilanteessa laitteiden käyttöönottovaiheessa.



KUVIO 24. Miksauslaitteet testiympäristössä

Kuviossa 24 nähdään käytetty laitteisto. Toteutus haluttiin tehdä täysin langattomasti, joten varsinaista fyysistä mikseriä ei edes otettu mukaan. Behringer X32 rakkimallinen mikseri kytkettiin WLAN-reitittimeen, johon otettiin yhteys iPad 2:lla. Laitteen 32:n input-porttiin vasemmalla alhaalla kytkettiin sisään tulevat äänisignaalit, esimerkiksi instrumentit ja laulut. Oikealla alhaalla oleviin portteihin kytkettiin output- eli ulos PA:lle menevät äänisignaalit mikseriltä.

Kaapeleiden kytkennät rakkimalliselle mikserille tulevat esiintymislavalta fyysisesti mikrofonikaapeleilla. Tulevaisuudessa langattomat lähettimet instrumentteihin ja mikrofoneihin mahdollistaisivat myös langattomat yhteydet ilman fyysisiä kaapeleita lavalle. Tämä on valmiilla laitteilla toteutettavissa, mutta kustannuskysymys.



KUVIO 25. iPadin kytkeminen mikseriin

iPad kytkettiin mikseriin (KUVIO 25) määrittelemällä verkko 192.168.1.0 255.255.255.0 WLAN-reitittimelle, ja mikserille määritettiin kiinteä IP-osoite 192.168.1.15. Laitteiden yhteensopivuudessa ei ollut mitään ongelmia testivaiheessakaan.



KUVIO 26. Reititin mikseriin kytkettynä ja kiinnitettynä räkkiin

Testiympäristössä on käytössä vanha kotimodeemina toiminut Zyxelin P600-sarjalainen WLAN-reititin (KUVIO 26) Reititin toimi testiympäristössä moitteetta, mutta on selvää, että laite pitää päivittää uudempaan ja

tehokkaampaan isompaa tuotantoympäristöä varten. Tässä toteutuksessa fyysisiä laitteita olivat siis rakkimallinen mikseri, iPad 2 ja Zyxel-reititin itse äänentoistolaitteiden lisäksi. (KUVIO 27.)



KUVIO 27. Koko miksausympäristö ilman kaapelointeja

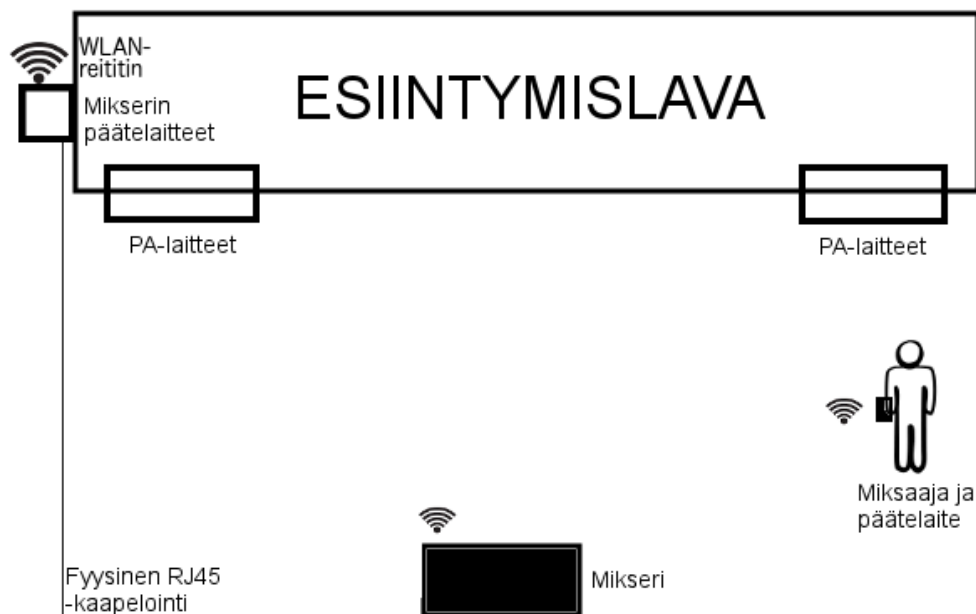


KUVIO 28. Ensimmäinen tuotantototeutus

Toteutus testattiin vanhassa puisessa tallirakennuksessa, joten WLAN-yhteyden kanssa ei ollut ongelmia signaalin voimakkuudessa tai laadussa. Ihmisiä paikalla oli noin 85 henkeä. Laitteiden käyttöönotto kesti noin puolet siitä ajasta, mitä normaalisti ilman WLAN-ominaisuuksia. Tämä mahdollisti, että ei tarvinnut tehdä erikseen paikkaa mikserille. Tällöin myös mikserin ja lavarasian välinen kaapelointi ei tullut tarpeen ja koko esiintymisaika saatiin miksattua iPadin ja rakkimikserin välisellä yhteydellä.

Yhteyttä testattiin konserttitilanteessa myös kauempaa, ja ongelmia ei esiintynyt.

Samankaltainen, mutta toteutukseltaan suurempi ympäristö oli kesäkuussa 2016. Mikserin ja lavan välissä oli noin 30 metriä etäisyyttä, jolloin tekniikka oli haasteellisemmassa tuotannossa. Jo käyttöönottovaiheessa havaittiin, että tämänhetkisen reitittimen signaali tai kantama ei riitä tuottamaan haluttua vakautta järjestelmään. Yhteys katkeili, ja WLAN-verkon signaali päätelaitteelle oli heikko.



Kuvio 29. Toteutus suuremmassa tuotannossa

Kuviosta 29 nähdään, miten toteutus rakennettiin. WLAN-reititin sijaitsee pääteräkissä lavan vasemmalla reunalla. Räkistä on vedetty RJ45-ethernetkaapeli mikserille varsinaista toteutusta varten. Miksaajalla on iPad-päätelaite kädessä, joka on yhdistetty WLAN-reitittimeen lavan vasemmalla reunalla. Kuvasta selviää, että kun välimatka toteutuksessa suurenee, niin vaadittu signaalin laatukin kasvaa. Suuremmassa tuotannossa näin ei toteutunut, vaan signaali pätki ja häiriöitä tuli jo laitteita käyttöönottaessa. Tällöin yleisö mikserin ja esiintymislavan välissä toimii vielä signaalia heikentävänä tekijänä, niin yleisön massan kuin

heidän älypuhelimensa aiheuttaman häiriön aiheuttamana.

Tulevaisuudessa samankaltaiseen tilanteeseen varauduttaessa pelkällä langattomalla yhteydellä on otettava huomioon mahdollisesti langattoman tukiaseman käyttö WLAN-reitittimen apuna. Tässä tapauksessa langaton tukiasema voitaisiin esimerkiksi sijoittaa mikserille, jolloin verkosta saataisiin kattavampi ja välimatkoja pienennettyä. Tukiasema toimisi siis samoilla asetuksilla kuin langaton reititinkin ja täten tukiasema vahvistaisi langatonta signaalia alueella ja kasvattaisi verkon sädettä.

Mikäli esiintyjien käyttöön otettaisiin WLAN-tekniikkaa avuksi monitorointiin ja mahdollisesti jopa instrumentin signaalin kuljettamiseen langattomasti, on huomioitava myös langattoman verkon kantama ja mahdollisen suuren esiintymispaikan tuomat ongelmat. Mikäli etäisyys kasvaa ja paikassa on fyysisiä esteitä, voi olla, että lavan toisellekin puolelle täytyy saada signaaliketjun vahvistamiseksi langaton reititin tai tukiasema.

## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella Yritys X:lle toteutus heidän tuotantoympäristönsä äänentoistoa varten mahdollisimman langattomaksi tämänhetkisellä laitteistolla. Tavoitteena oli myös tutkia tulevaisuuden näkymiä langattomuuden hyödyntämiseksi erilaisissa äänentoistototeutuksissa.

Yrityksen laitteisto mahdollisti tämänhetkisellä tekniikalla langattoman äänentoistojärjestelmän suunnittelemisen, joten tavoitteena oli järjestelmän luominen, testaaminen ja toteutus.

Työssä käytiin läpi tekniikoita, joita tulee ymmärtää, ennen kuin voidaan langatonta äänentoistojärjestelmää alkaa suunnittelemaan. On otettava huomioon radiotaajuuksien käyttö ja langattomien äänensiirtotekniikoiden tarjoamat mahdollisuudet ja mahdolliset heikkoudet.

Yritys X:llä oli jo olemassa mikseri, joka mahdollisti WLAN:a tukevan äänentoistojärjestelmän käytön. Yrityksellä oli myös vanha WLAN-reititin, jolla päästiin testaamaan järjestelmän käyttöä niin testi- kuin tuotantokäytössäkin. Testikäytössä kaikki toimi kuten pitikin, mutta tuotantokäytössä vanha reititin aiheutti ongelmia heikon signaalin ja kantaman vuoksi.

Toukokuussa 2016 järjestelmä oli tuotantokäytössä pienehkössä ympäristössä, jossa oli 85 ihmistä ja fyysinen mikseri oli jätetty kokonaan pois. Tällöin koko äänentoisto ohjautui iPad 2:n kautta ja kaikki toimikin niin kuin pitikin. Laitteiston käyttöönotto oli nopeaa, ja käytössä ei aiheutunut ongelmia, viiveitä tai häiriöitä.

Kesäkuussa laitteet olivat käytössä tapahtumassa, jossa sadat ihmiset ja noin 30 metrin etäisyys aiheuttivat pätkimistä ja häiriöitä käytetylle iPad-päätelaitteelle. Tällöin etäohjausta ei voitu suorittaa, vaan työ oli tehtävä manuaalisesti mikserillä. Tässä tilanteessa ei siis ollut mahdollista miksata yleisön joukosta eri sijainneista, vaan piti olla fyysisesti mikserin luona.

Langattoman äänentoistojärjestelmän toteutuksen aikana päätös uuden reitittimen hankinnasta käynnistyi, jotta yrityksen äänentoistojärjestelmästä saataisiin entistä stabiilimpi. Uuden reitittimen testauksen jälkeen samankaltaisessa tilanteessa saadaan vasta tieto siitä, miten järjestelmä toimii. Satojen ihmisten ja heidän älypuhelimien WLAN:ien aiheuttama häiriö voi tehdä samaa oireilua edelleen uudistetullekin järjestelmälle. Tämänhetkinen Yritys X:n käytössä ollut reititin ei tukenut 5 GHz:n taajuuksia, joten korkeamman taajuuden testaaminen ei ollut mahdollista.

Työn toteuttaminen tuotantokäytössä oli mielenkiintoisin osuus työssä ja etenkin ongelmien havaitseminen. Teoriassa oli jo huomattu, että häiriöitä etenkin toisella suuremmalla tuotannolla voi tulla. Teknisesti tähän oli varauduttu fyysisen mikserin mukanaololla, jolloin ongelmia itse tuotantoon ei tullut.

Käyttölaitteena iPad 2 on tällaiseen käyttöön luotettava ja vakaa. Ohjelmistoissa ei havaittu missään vaiheessa ongelmia, vaan kaikki tekniset häiriöt johtuivat tietoliikenteestä, eli tässä tapauksessa WLAN:sta. Tablettien kehittyminen onkin mahdollistanut niiden käytön ammatillisessa äänentoistossa, koska niiden suoritusteho riittää vaativienkin ohjelmien suorittamisen ilman, että niitä enää tarvisi verrata esimerkiksi kannettaviin tietokoneisiin tehoiltaan ja ominaisuuksiltaan.

Opinnäytetyön aihe oli käytännönläheinen, ja työ opetti langattomista verkoista ja niiden häiriöistä tuotannollisen toteutuksensa ansiosta paljon. Työssä havaittujen ongelmien vuoksi langattomuutta ei voida vielä pitää ainoana vaihtoehtona äänentoistolle, vaan fyysinen kytkentä yhteydelle tuotannossa on oltava ennen kuin täysin testattu ja toimiva järjestelmä on saatu tulevaisuudessa käyttöön.

Tulevaisuudessa langattomuuden käyttäminen miksaajan ja esiintyjän korvamonitoreissa, kuten myös lavalla instrumenttien yhdistäminen räkkiin langattomasti ovat yritystä helpottavia ominaisuuksia. Näin vaadittava kaapeleiden määrä pienenee ja tarvittava kalusto on mahdollista

käyttöönottaa entistäkin pienemmässä ajassa. Langattomat järjestelmät ovat myös hinta-laatusuhteeltaan jo nyt samoissa hinnoissa kuin fyysisetkin toteutukset. Joten kun langattomien järjestelmien stabiilius ja häiriöalttius saadaan luotettavaksi, on oletettavaa, että langattomat järjestelmät valtaavat musiikkialaa ja jättäen suuren määrän vanhaa kalustoa käyttämättömäksi.

Langattomien tekniikoiden kehittyminen mahdollistaa tulevaisuudessa myös häiriöttömämmät ympäristöt toimia. Tällä hetkellä WLAN:ien etenkin 2.4GHz:n kaistalla on paljon käyttäjiä ja liikennettä, mikä aiheuttaa sen, ettei langattomaan järjestelmään vielä voi täysin luottaa kaikissa olosuhteissa.

Yrityksen palveluja ajatellen myös valotekniikka on tulevaisuudessa mahdollista ohjata langattomasti. Tällöin myös viive ja signaalin hyvä laatu ovat tärkeimmät huomiot toteutusta tehdessä. Useasti valotekniikka on tahdissa musiikin kanssa, jolloin häiriöitä tuotannossa ei saa tulla. Tässä tapauksessa toteutus kannattaisi tehdä erillisillä laitteilla, jotta ääni- ja valodata kulkisivat eri verkkolaitteita pitkin mahdollistaen mahdollisimman pienen kuormituksen verkolle.



## LÄHTEET

Aikio, R. 2003. PA-teoria [viitattu 5.4.2016]. Saatavissa:

<http://koti.utanet.fi/~mikaa/rami/tietoboxi/pa.html>

Apple 2016a. App Store -ohjelman käyttö iOS-laitteissa, Apple TV:ssä tai tietokoneessa [viitattu 1.5.2016]. Saatavissa: <https://support.apple.com/fin-fi/HT204266>

Aroluoma, K. 2013. Langattoman järjestelmän osat [viitattu 9.4.2016].

Saatavissa: <http://backstageblogi.fi/tutoriaalit/langattoman-jarjestelman-osat>

Atterotech 2016. Dante Networked AV [viitattu 1.5.2016]. Saatavissa:

<http://www.atterotech.com/education/dante-networked-av/>

Audio 2000's 2016. Audio 2000's Wireless Systems [viitattu 8.4].

Saatavissa: <http://www.audio2000s.com/products/wireless/wireless.htm>

Autosound 2016. Vahvistintietoa [viitattu 11.12.2016]. Saatavissa:

<http://www.autosound.fi/index.php/vahvistimet.html>

Bar, E. 2015. Texas Instruments - Wi-Fi®audio: Capabilities and challenges [viitattu 12.11.2016]. Saatavissa:

<http://www.ti.com/lit/wp/swry018/swry018.pdf>

Brooks, D. 2016. What Is A WLAN Router [viitattu 9.4.2016]. Saatavissa:

<http://www.wisegeek.com/what-is-a-wlan-router.htm>

Bruce, J. 2011. What Is A Static IP Address, How Do I Get One & Its Advantages / Disadvantages [viitattu 9.4.2016]. Saatavissa:

<http://www.makeuseof.com/tag/static-ip-address-advantages-disadvantages/>

Domainkeskus 2016. Millainen on hyvä salasana [viitattu 1.5.2016].

Saatavissa:

[https://www.domainkeskus.com/apua/Millainen\\_on\\_hyv%C3%A4\\_salasan](https://www.domainkeskus.com/apua/Millainen_on_hyv%C3%A4_salasan)

a%3F

Elers, N. 2016. Rajallinen luonnonvara: radiotaajuudet [viitattu 10.11.2016]. Saatavissa:

[http://www.ficom.fi/tietoa/tietoa\\_4\\_1.html?Id=1159247060.html](http://www.ficom.fi/tietoa/tietoa_4_1.html?Id=1159247060.html)

Elsa, P. 2016. Mixers [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<http://artsites.ucsc.edu/ems/music/equipment/mixers/mixers.html>

Eskola, L. 2014. Mitä on langaton äänentoisto [viitattu 4.4.2016].

Saatavissa: <https://www.hifistudio.fi/fi/blogi/mita-on-langaton-aaentoisto/115>

Frink, M. 2016. Cat5 Digital Snake Stage Boxes [viitattu 1.5.2016].

Saatavissa: <http://www.fohonline.com/buyers-guides/6375-cat5digitalsnakestageboxes.html>

Future electronics 2016. What is an audio amplifier? [viitattu 11.11.2016].

Saatavissa: <http://www.futureelectronics.com/en/amplifiers/audio.aspx>

Google 2016. Google Play [viitattu 1.5.2016]. Saatavissa:

<https://support.google.com/googleplay?hl=fi#topic=3364261>

Grönman, J. 1999. Analoginen vastaan Digitaalinen Tekniikka

Langattomassa Tiedonvälityksessä [viitattu 11.4.2016]. Saatavissa:

[http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1999/Wireless/analog\\_1.html](http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1999/Wireless/analog_1.html)

Hallikainen, S. 2001. Radioaallot ja eteneminen [viitattu 12.11.2016].

Saatavissa: <https://riku.kalinen.net/vapepa/viestikurssi-2001-04/Radioaallot-ja-eteneminen.pdf>

Hifimaailma 2011. Jitterin anatomia [viitattu 12.11.2016]. Saatavissa:

<http://www.hifimaailma.fi/artikkelit/jitterin-anatomia/>

Internetopas 2016. Tietoturva [viitattu 1.5.2016]. Saatavissa:

<http://www.internetopas.com/yleistietoa/tietoturva/>

Kangasalan Radiokerho RY OH3ABN 2016. Radioaaltojen eteneminen [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<http://www.oh3abn.net/index.php/t2moduuli/radioaaltojeneteneminen.html>

Juutilainen, M. 2006. Radiotekniikan perusteet: Signaalien eteneminen [viitattu 5.4.2016]. Saatavissa:

<http://www2.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf>

Lang, 2010. Langattomien tietoliikennejärjestelmien perusteet [viitattu 12.11.2016]. Saatavissa: [http://www.tekniikka.oamk.fi/tl-](http://www.tekniikka.oamk.fi/tl-lab/tietoliikennejarjestelmat/Lang_tljaj_per/lang_tljaj_per_2010.pdf)

[lab/tietoliikennejarjestelmat/Lang\\_tljaj\\_per/lang\\_tljaj\\_per\\_2010.pdf](http://www.tekniikka.oamk.fi/tl-lab/tietoliikennejarjestelmat/Lang_tljaj_per/lang_tljaj_per_2010.pdf)

Livewire 2016. What You Might Not Know About Bluetooth [viitattu

11.11.2016]. Saatavissa: <https://www.lifewire.com/what-to-know-about-bluetooth-3134591>

Mediacollege 2016. Sound Systems [viitattu 10.4.2016]. Saatavissa:

<http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-systems.html>

Mobiili ja terveys 2016. Vaikutus ihmiseen [viitattu 12.11.2016].

Saatavissa: <http://www.mobiilijaterveys.fi/vaikutus-ihmiseen/>

Padveen, C. 2015. DIGITAL VS. ANALOG: LOOKING TOWARDS THE FUTURE [viitattu 12.11.2016]. Saatavissa:

<http://www.coreypadveen.com/digital-vs-analog-future-of-tech/>

PC Mag 2016. SSID [viitattu 9.4.2016]. Saatavissa:

<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/51942/ssid>

Phorus 2014. 2.4Ghz-vs.-Gghz [viitattu 10.4.2016]. Saatavissa:

<http://phorus.com/blog/2.4ghz-vs.-5ghz>

Pocketnow 2014. 5GHz – Wifi [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<http://pocketnow.com/2014/01/23/5ghz-wifi>

Poole, I. 2016. Bit Error Rate Tutorial and Definition [viitattu 12.11.2016].  
Saatavissa: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-tutorial-definition.php>

SecureIDNews 2007. Understanding RFID [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:  
<http://www.secureidnews.com/news-item/understanding-rfid-part-5-rf-characteristics/>

TFWM 2013. Audio over Ethernet (AoE): The New Vehicle for Audio Transport [viitattu 11.4.2016]. Saatavissa: <http://tfwm.com/audio-over-ethernet-aoe-the-new-vehicle-for-audio-transport/>

TKK 2008. Teknillinen korkeakoulu – verkkokerros [viitattu 12.11.2016].  
Saatavissa: <http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-110.2100/2008/Luennot/04.Verkkokerros.pdf>

Vear, T. 2005. Wireless microphone systems [viitattu 9.4.2016].  
Saatavissa:  
[https://engineering.purdue.edu/ece103/References/wireless\\_microphone\\_systems.pdf](https://engineering.purdue.edu/ece103/References/wireless_microphone_systems.pdf)

Viestintävirasto 2015a. Ilmailu [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:  
<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/ilmailu.html>

Viestintävirasto 2015b. Langattomat mikrofonit ja kamerat [viitattu 4.4.2015]. Saatavissa:  
<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/langattomatmikrofonitjakamerat.html>

Viestintävirasto 2015c. Radiotaajuuksien käyttö [viitattu 4.4.2016].  
Saatavissa:  
<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radiotaajuuksienkaytto.html>

Viestintäministeriö 2015d. Taajuudet [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet.html>

Viestintävirasto 2014. Langattomasti, mutta turvallisesti [viitattu 9.4.2016].

Saatavissa:

[https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tietoturva/Langattomasti\\_mutta\\_turvallisesti\\_Langattomien\\_lahiverkkojen\\_tietoturvallisuudesta.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tietoturva/Langattomasti_mutta_turvallisesti_Langattomien_lahiverkkojen_tietoturvallisuudesta.pdf)

White, P. 2012. Finding The Right PA System For You [viitattu 8.4.2016].

Saatavissa: <http://www.soundonsound.com/sos/jun12/articles/choosing-pa-systems.htm>

Wikibooks 2016. UHF [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<https://fi.wikibooks.org/wiki/Radiotaajuuskirja/UHF>

Wikipedia 2016a. Audio over Ethernet [viitattu 1.5.2016]. Saatavissa:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Audio\\_over\\_Ethernet](https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_over_Ethernet)

Wikipedia 2016b. Bluetooth [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

Wikipedia 2016c. Mikrofoni [viitattu 5.4.2016]. Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Mikrofoni>

Wikipedia 2016d. Radioaallot [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaallot>

Wikipedia 2016e. VIRVE [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/VIRVE>

Wikipedia 2016f. WLAN [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/WLAN>

Yamaha 2016. Setting up network switches [viitattu 11.12.2016].

Saatavissa:

[http://www.yamahaproaudio.com/global/en/training\\_support/selftraining/dante\\_guide/chapter2/05\\_multicast/](http://www.yamahaproaudio.com/global/en/training_support/selftraining/dante_guide/chapter2/05_multicast/)

Yamaha 2016. What Mixers Are Used with PA Systems? [viitattu 5.4.2016]. Saatavissa:

[http://www.yamahaproaudio.com/global/en/training\\_support/selftraining/pa\\_guide\\_beginner/mixer/](http://www.yamahaproaudio.com/global/en/training_support/selftraining/pa_guide_beginner/mixer/)

Yle 2012. Langattomat mikrofonit romukoppaan – taajuudet laajakaistalle [viitattu 4.4.2016]. Saatavissa:

[http://yle.fi/uutiset/langattomat\\_mikrofonit\\_romukoppaan\\_-\\_taajuudet\\_laajakaistalle/54967](http://yle.fi/uutiset/langattomat_mikrofonit_romukoppaan_-_taajuudet_laajakaistalle/54967)

